





ALEXANDRE JOMBERT jeune, ſucceſſeur de Ch. Ant. Jombert, ſon pere, Libraire du Roi pour l'Artillerie & le Génie, vient de tranſporter ſon Magaſin dans la même rue Dauphine, la quatrieme Maiſon à droite par le Pont-Neuf.

On trouve chez lui tous les Articles qui formoient le Fonds de ſon Pere, composé particuliérement de Livres ſur l'Art Militaire, la Marine, les Mathématiques, la Phyſique, la Perſpective, l'Architecture, la Peinture, &c. & de plus un Aſſortiment très ample de Livres dans le même genre, imprimés ſoit en France, ſoit dans les Pays étrangers.

TRAITÉ DU NAVIRE,

DE SA CONSTRUCTION, ET DE SES MOUVEMENS.

Par M. Bouguer, *de l'Académie Royale des Sciences; ci-devant Hydrographe du Roi au Port du Croisic, & au Havre de Grace.*



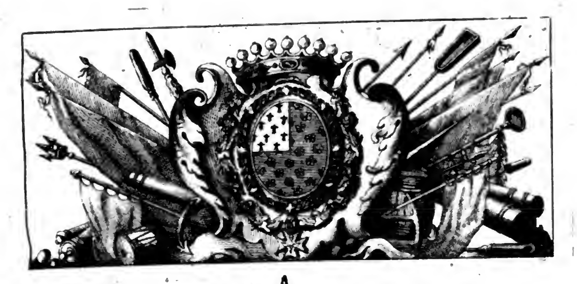


A PARIS,
Chez Ch. Ant. Jombert, Libraire du Roi pour l'Artillerie & le Génie, rue Dauphine, à l'Image Notre-Dame.

M. DCC. XLVI.

AVEC APPROBATION ET PRIVILEGE DU ROI.





A

MONSEIGNEUR
LE COMTE
DE MAUREPAS,

Miniſtre & Secretaire d'Etat de la Marine.



MONSEIGNEUR,

La protection dont vous honorez les Savans vous donne de vrais droits ſur tous leurs Ouvra-

ges, & leur impose en même tems la loi de s'appliquer à les rendre dignes de vous être présentés. Le Public en recueille le fruit & sait combien il en est redevable à la faveur d'un Ministre éclairé, qui au milieu même des guerres dont l'Europe est agitée, n'a cessé d'animer les Sciences par ses regards, & d'en hâter les progrès par ces Entreprises fameuses, qui seront des monumens éternels de la sagesse de ses vues, & qui feront l'admiration de la postérité.

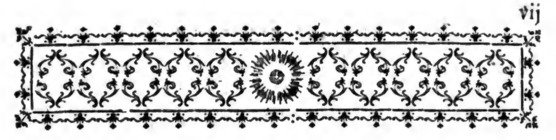
Vous avez voulu, MONSEIGNEUR, *que j'eusse quelque part à la Commission honorable d'exécuter, sous l'Equateur, une petite partie de ces vastes projets. Pendant qu'au Pérou je me livrois à cette occupation, en ne négligeant rien pour remplir vos ordres, j'ai profité de tous les momens dont il m'a été permis de disposer,*

pour travailler à la composition de ce Traité sur la Construction des Vaisseaux & la Théorie de leur Manœuvre. Le desir que j'avois de vous l'offrir m'a soutenu contre des difficultés extrêmes, qui venoient tant de la nature du sujet, très-compliqué par lui-même, que de la situation où je me trouvois alors; & à peine le Livre fut-il achevé, que j'eus l'honneur de vous écrire, pour vous supplier d'agréer qu'il parût sous vos auspices. La consécration vous en a été faite, MONSEIGNEUR, *d'une des extrémités de la Terre; puisse cette circonstance donner quelque mérite à mon hommage! Si cet essai de mon zele, pour perfectionner la Navigation, n'a pas tout le succès que j'en attends, il me procure au moins une occasion qui m'est infiniment précieuse, de rendre publique la juste*

& vive reconnoissance que je ressens pour tous les bienfaits dont vous m'avez comblé. Je suis avec un profond respect,

MONSEIGNEUR,

Votre très-humble &
très-obéissant Serviteur,
BOUGUER.



PRÉFACE.

IL n'étoit guere possible que l'Architecture navale, compliquée comme elle l'est par la multitude des diverses connoissances qu'elle suppose, fît des progrès aussi rapides que les autres parties de la Marine qui sont incomparablement plus simples. Il falloit non-seulement que les diverses théories sur le mouvement, dont elle dépend & dont l'époque est assez récente, fussent portées plus loin, il étoit encore nécessaire que l'analyse même & les méthodes géométriques qui devoient servir à résoudre les grandes difficultés qui lui sont propres, parvinssent elles-mêmes à un degré de perfection qu'il n'y a pas longtems qu'elles ont acquis. Aucune matiere ne demandoit davantage à être éclairée de la lumiere des Mathématiques; & il est certain qu'aucune n'en a été plus privée jusques à présent. Rebutés à la vue des premiers obstacles, les Marins cesserent trop tôt de faire de nouveaux efforts; & ils prirent un parti qui ne pouvoit être dicté que par le désespoir, celui de se livrer à la pratique la plus imparfaite, en s'interdisant tout secours de la part de la théorie. On avoit un exemple sous les yeux, & on ne voulut y faire aucune attention. On ne considéra point que quoique l'Architecture militaire soit extrêmement plus facile, rien ne s'est exécuté de tout tems à son égard, que par la direction de la Géométrie & des Méchaniques.

Il ſuffit cependant de jetter les yeux ſur les tentatives qui ont été faites ſur la Conſtruction, pour reconnoître, que ſoit parce qu'elles ont été trop limitées, ſoit par le défaut de quelques autres conditions eſſentielles, elles n'ont jamais été d'une nature à faire déſeſpérer du ſuccès. Nous ne pouvons mettre qu'entre ces eſſais abſolument hazardés, celui de Pierre Janſſe de Horne, qui crut au commencement de l'autre ſiecle, avoit ſaiſi l'idée archétype des Vaiſſeaux parfaits, en empruntant les dimenſions de l'Arche de Noé. Cet homme, dont nous devons louer au moins les bonnes intentions, ne remarquoit pas que l'Arche, bien loin d'être deſtinée à naviger avec vîteſſe, ne devoit ſervir qu'à ſoutenir un grand poids preſqu'en repos ſur les eaux du Déluge. Il lui reſtoit outre cela les dimenſions des voiles à régler, lorſqu'abandonné à ſes propres idées, ſon modele lui manquoit dans le plus grand beſoin : malheureuſement le navire de Noé étoit ſans mâture ; & celle qu'il falloit que Janſſe diſposât de ſon chef, n'ayant pas de ſon propre aveu le même degré d'autorité que le reſte, ſon entrepriſe pouvoit échouer par cet endroit. On a fait dans d'autres tems quelques autres tentatives avec auſſi peu de connoiſſance, & qui ne pouvoient pas mieux réuſſir.

Il ſemble que ſi l'Architecture navale devoit ſe perfectionner, c'étoit dans les conférences qui ſe tinrent à Paris vers 1681, où aſſiſtoient, avec pluſieurs Conſtructeurs habiles, pluſieurs Officiers fameux, comme M. le Marquis du Queſne & M. le Chevalier Renau, qui peu d'années après publia un Livre ſur la théorie de la Manœuvre. Il réſulta effectivement de ces conférences un avantage conſidérable pour la Marine. On fixa entre les principales dimenſions des Navires, ces mêmes proportions qu'on obſerve

ſerve encore tous les jours, leſquelles ſe trouvent dans différens livres, & qui ſont autoriſées par l'Ordonnance des Arſenaux, de 1689. Mais ce qui eſt infiniment préférable, M. Renau y communiqua une méthode réglée de former les plans & les profils des navires, en aſſujettiſſant aſſez toutes les parties les unes aux autres, pour rendre leur figure plus uniforme ou plus ſymétrique; au lieu que les pratiques qu'on avoit ſuivies juſqu'alors, abandonnoient la diſpoſition de preſque tout l'ouvrage au hazard, ou au caprice de l'ouvrier.

Il eſt vrai qu'on ſe contenta dans ces Aſſemblées d'effleurer à peine le ſujet: on s'abandonna à un examen trop abſtrait de la ſeule forme extérieure des navires. On les conſidéra comme des corps géométriques, dont on croyoit déja ſçavoir à-peu-près la figure, & dont il ne s'agiſſoit que de conformer les contours avec plus de facilité ou plus d'élégance. Il ne fut nullement queſtion d'entreprendre le travail auſſi long que pénible, de les traiter comme des corps phyſiques & hétérogenes; & ſi on le ſentit, on n'oſa pas l'avouer, que toutes les parties du vaiſſeau ont entr'elles des rapports exacts & ſecrets, qu'il n'appartient pas à la Géométrie pure de déterminer, mais qui ſont du reſſort de la Phyſique, ou de la Méchanique. C'eſt au moins ce qu'on peut inférer du récit ſuccint qu'en fait M. du Hamel dans ſon hiſtoire de l'Académie, où il ſe contente de nous apprendre, que M. Renau formoit les courbures des navires par le moyen d'une ſection conique. Si on préféroit ces lignes courbes, ce n'eſt pas qu'on eût découvert qu'elles jouiſſoient de quelques avantages particuliers qui les rendiſſent plus propres à cet uſage: on ne les employoit que parce qu'elles étoient plus connues ou plus faciles à décrire; elles ſe préſentoient les premieres.

Enfin le P. Hoste, Professeur Royal à Toulon, qui n'étoit pas moins homme de mer qu'habile Mathématicien, est l'Auteur qui a fait des efforts dont on pouvoit naturellement attendre le plus, & dont nous connoissions en même tems toutes les vues particulieres. Il donna au Public en 1697 un assez gros livre sous le titre de *Théorie de la construction des Vaisseaux*. Nous ne faisons pas ici mention du Traité de N. Witsen, qui s'est fait un si grand nom en Hollande ; car quoique cet Ouvrage soit excellent à certains égards, & que même les Etats Généraux, en le supprimant, ayent paru en être jaloux, il s'en falloit beaucoup que l'Architecture Navale fût parvenue alors au point où l'expérience seule l'a portée depuis. Outre cela, Witsen, qui ne se proposoit pas moins de parler de la Navigation des Anciens que de celle des Modernes, considéroit son sujet dans un point de vue trop éloigné, pour discerner les défauts des méthodes qui regnoient de son tems. Le savant Jésuite au contraire en sentit toutes les imperfections : il vit bien qu'il ne suffisoit pas de fixer les regles ordinaires, ou de les exprimer par des pratiques de Géométrie, comme le faisoit M. Renau, puisqu'on les laissoit telles qu'elles étoient, sans en changer la nature. Le Traité de la Théorie de la construction dont il s'agit est à la suite de celui des évolutions Navales, ouvrage original, que les Officiers de Marine ne sauroient trop consulter, puisqu'il contient la Tactique des Escadres & des Armées Navales ; science nécessaire aux Généraux & à tous ceux qui se trouvent chargés de la conduite des Flottes.

Un incident qui ne devoit que contribuer, ce semble, à rendre plus parfait le Traité de la Théorie de la Construction, produisit, par un malheur qu'on n'eût pas pu

prévoir, un effet tout contraire. L'Auteur avoit réussi quelques années auparavant à composer un Traité de manœuvre particuliere *, qui conserve encore actuellement presque tout son prix, quoiqu'il soit fondé en partie sur les mêmes principes que celui de M. le Chevalier Renau. Ils avoient l'un & l'autre puisé ces principes dans le P. Pardies, qui s'étoit laissé séduire par des raisonnemens qui n'étoient que plausibles, lorsqu'il avoit tâché le premier, dans son discours sur les forces mouvantes, d'expliquer les particularités des mouvemens des Vaisseaux. On sçait l'histoire de la longue contestation qui s'agita sur cette matiere, dont les pieces se trouvent dans les Journaux des Sçavans & ailleurs. M. Hughens la commença heureusement; mais sans avoir la satisfaction de l'achever; & elle ne s'est enfin terminée que de notre tems, lorsque M. Bernoulli a publié son excellent essai d'une nouvelle Théorie de la manœuvre, qui n'a plus laissé lieu à de nouvelles disputes.

* Ce Traité est le dernier du recueil des Traités Mathématiques imprimé à Lyon en 1692.

Le P. Hoste, quoiqu'il fût intéressé dans cette contestation, n'y prit cependant aucune part. Il étoit tombé dans les mêmes paralogismes que M. Renau; la conformité n'étoit que trop entiere, malgré ce qu'on a avancé depuis avec une injustice qui n'a pu être commise que par quelqu'un qui ignoroit totalement ces matieres, que M. Bernoulli devoit faire honneur au P. Hoste, des lumieres qu'il en avoit pu tirer. Comme si ce célebre Mathématicien s'étoit trouvé dans le cas d'en emprunter; ou comme s'il étoit ordinaire, lorsqu'on se propose de réfuter un livre, d'en consulter quelqu'autre qui peche précisément par les mêmes endroits. Nous ne saurions malgré cela, en interprétant le silence du savant Jésuite, assurer s'il se rendit à la force de toutes les raisons de M. Hughens: il est seulement certain qu'il craignit beaucoup trop de

s'être trompé; puiſqu'il aima mieux convenir que les principes qu'il avoit employés étoient erronnés, que de réformer les fauſſes conſéquences qu'il en avoit tirées. Il changea d'avis ſur les loix mêmes que les fluides obſervent dans leur impulſion; il prétendit que leur action étoit ſimplement proportionnelle à leur vîteſſe, & au ſinus de l'angle d'incidence que forme leur direction avec la ſurface frappée : accuſant mal-à-propos tous les Mathématiciens de commettre un double emploi, lorſqu'au lieu de conſidérer ces rapports ſimples, ils s'accordent unanimement à en prendre les quarrés. Ces mécomptes, joints à quelques autres, furent une nouvelle ſource de mépriſes dans ſon dernier ouvrage, & nuiſent à la plûpart des diſcuſſions qu'il renferme. La vérité m'oblige encore d'ajouter, malgré les égards qu'on doit avoir pour la mémoire d'un Auteur qui en mérite par tant d'endroits, qu'outre qu'il a obmis l'examen des problêmes les plus importans; il n'en eſt peut-être pas un ſeul qu'il ait traité dans toute ſa complication.

Il lui eſt arrivé, comme à pluſieurs autres Géometres qui ont quelquefois jetté les yeux ſur des points particuliers de cette matiere, de négliger quelques conditions néceſſaires, ou de faire abſtraction de circonſtances eſſentielles. Ils ſont parvenus à la ſolution de nouvelles queſtions qui nous enrichiſſent, il eſt vrai, en augmentant le domaine des Sciences: mais comme ces queſtions ſont trop limitées, & qu'elles ne ſortent pas des termes des vérités purement hypothétiques, elles n'ont réellement aucune application dans la Marine, qui ne ſe ſatisfait pas d'hypotheſes ou de ſimples ſuppoſitions. Le même inconvénient n'a que trop lieu dans d'autres cas; ce n'eſt même que parce qu'il eſt trop ordinaire, qu'on a vu s'introduire

cette diſtinction qui ſeroit ſi étrange, ſi elle étoit bien fondée, qu'une propoſition peut être vraie dans la théorie, & fauſſe en même tems dans la pratique. A peine eſt-il en effet une ſeule queſtion de celles qui ſont mêlées de Phyſique, qui ſoit réſolue en toute rigueur, malgré les fréquentes applications qu'on a faites, comme à l'envi, dans ces derniers tems de l'analyſe moderne. On ſe permet toujours quelques adouciſſemens, on écarte quelquefois avec adreſſe les particularités qui rendroient la diſcuſſion trop épineuſe; & il ne faut pas s'étonner après cela, ſi l'expérience ne répond pas à tout ce qu'on s'étoit promis. Mais qu'on ne ſe diſſimule aucune circonſtance, qu'on tente de réſoudre les problêmes dans toute leur difficulté, & on verra un continuel accord entre la théorie & la pratique; le contraire impliqueroit contradiction.

Il eſt fâcheux pour nous d'être obligés d'entrer dans ces détails; nous ne le faiſons qu'à regret. Car nous ne devons pas avoir moins d'obligation aux grands hommes, qui les premiers entreprennent de défricher le vaſte champ des Sciences; quoique par une fatalité qu'il n'eſt pas toujours poſſible de vaincre, les matieres compliquées ne ſe perfectionnent que peu-à-peu & que par parties. Mais une infinité de trop juſtes motifs nous impoſent la néceſſité de diſculper la ſpéculation des prétendus torts qu'on lui impute tous les jours. On pouſſe même ſouvent l'injuſtice juſqu'à lui reprocher les tentatives imprudentes faites par des perſonnes, qui au lieu d'être Géometres, en avoient ſeulement uſurpé le nom. Qu'on diſe, ſi l'on veut, qu'on n'a pas encore été aſſez heureux pour tirer des Mathématiques toutes les lumieres dont on a beſoin pour la Marine, différens exemples ne le prouvent que trop; mais qu'on convienne en même tems qu'il n'eſt pas poſſible

qu'une ſcience qui eſt toute occupée du ſoin de peſer, de meſurer, & de comparer les grandeurs, ne ſoit de la derniere utilité, pourvu qu'on en ſache faire une application légitime dans un ſujet où il s'agit de régler les unes ſur les autres, un ſi grand nombre de parties, & de mettre l'équilibre entre un ſi grand nombre de différentes forces. C'eſt ce qu'on n'eût pas tardé à éprouver par une heureuſe expérience, ſi on eût travaillé davantage à mettre la Géométrie en crédit, & qu'on ſe fût efforcé en la faiſant ſortir de l'enceinte de ſes ſpéculations, d'en étendre ſérieuſement les uſages.

Aprés ce que j'ai dit du P. Hoſte, on ne doit plus s'étonner ſi malgré ſon habileté, il réuſſit ſi peu dans la conſtruction d'une frégate dont il ſe chargea, pour juſtifier, s'il ſe pouvoit, ſes nouvelles idées contre M. de Tourville, qui ne ſe contentant pas de ſe déclarer le protecteur des regles vulgaires, voulut lui-même les mettre en exécution. M. de Tourville aſſez ſatisfait de ſauver l'honneur des pratiques anciennes, & ſe bornant à un ſuccès limité & ordinaire, étoit comme sûr de l'obtenir: il en avoit pour garant, ce nombre infini de navires qui ſortent continuellement d'entre les mains des Conſtructeurs. D'ailleurs il pouvoit compter qu'on ne lui refuſeroit aucune eſpece de ſecours; ſon entrepriſe étoit regardée comme une affaire générale, chacun y prenoit intérêt. Le P. Hoſte au contraire abandonné à lui ſeul, privé de tout conſeil ou n'en recevant que de très-ſuſpect, ayant contre lui trop de gens qui craignoient, ſi on l'oſe dire, de voir perfectionner leur art; ce Pere obligé en même tems de ſe frayer un chemin tout nouveau ſans être aidé par aucune tentative précédente, & prévenu enfin, comme nous en ſommes convenus, de principes peu conformes à la vraie méchanique,

ne pouvoit produire qu'un ouvrage informe à tous égards. Qu'on considere la chose de tous les côtés, ce nouveau genre de dispute lui étoit désavantageux. On fut comme offensé que son navire fût si plat par-dessous & qu'il eût si peu de profondeur; ce qui le rendoit effectivement sujet à une grande déviation dans les routes obliques & l'exposoit à plusieurs autres inconvéniens. Mais aussi on ne se prêta à rien, on n'eut aucune indulgence pour le Constructeur Géometre. On lui refusa même impitoyablement les louanges les plus dûes à son zele & à la hardiesse de son dessein; bien loin de reconnoître qu'il y avoit plus de vraie gloire à échouer comme il le faisoit, qu'à réussir comme son concurrent. On célébra beaucoup trop la victoire de ce dernier, on la fit sonner très-haut; quoiqu'elle fût d'autant plus foible, que M. le Maréchal de Tourville, fameux par des triomphes plus réels & d'un autre genre, ne pouvoit rien s'attribuer des succès de celui-ci. Le Lecteur juge cependant assez, vu toutes les circonstances, qu'il n'étoit pas possible que les pratiques ordinaires, qu'on croyoit si bien vengées, n'en parussent mieux établies. Il devint si peu permis d'y rien changer, que la moindre innovation qu'on eût voulu y introduire, eût été réputée téméraire ou dangereuse; l'expérience, quoiqu'elle ne prouvât rien, avoit pleinement décidé.

LA constfuction restant de cette sorte dans le même état, se trouva renfermée dans ses pratiques grossieres, & a outre cela été traitée d'une maniere extrêmement imparfaite dans quelques écrits que nous en avons. Soit défiance de la part des Constructeurs, ou dessein formé de tenir leurs maximes secretes pour s'en prévaloir contre leurs concurrens, ils déclarent bien les principales dimensions qu'ils donnent à leurs vaisseaux; mais nous n'avons

aucun Livre qui entre dans le détail de la figure qu'on leur donne actuellement, si on excepte un seul manuscrit dont nous avons eu occasion de parler, qui n'est qu'une simple ébauche, mais dont les copies se sont assez répandues dans la Marine. M. de Pulmi, Auteur de cet ouvrage, pouvoit faire de grands progrès, si sa santé les lui eût permis, car il étoit parfaitement instruit de toutes les pratiques des Constructeurs; il pouvoit y porter le flambeau de la Géométrie nouvelle, dans laquelle il étoit initié; & la Cour n'avoit pas tardé à l'y encourager, en le prévenant par ses bienfaits.

On sent comme nous, combien ce silence des gens du métier est nuisible : on voit assez qu'il empêche de profiter des connoissances de fait qu'ils ont au moins dû acquérir par leur long usage. Ils disputent volontiers & avec chaleur sur des choses de peu de conséquence, pendant que l'essentiel de la construction reste enséveli sous d'épaisses ténebres : au lieu que si chacun communiquoit ce que lui a appris l'expérience, si on se faisoit réciproquement part de ses observations, comme on le fait dans toutes les autres matieres, où l'on s'enrichit mutuellement des vues les uns des autres, on ne tarderoit pas à éprouver le fruit considérable qui naîtroit de cette heureuse communication. Les Constructeurs au contraire, comme s'ils étoient plus touchés de leurs intérêts personnels, que de la perfection de leur art, sont continuellement sur leur garde de crainte qu'on ne les pénetre : ils observent même un secret si profond, que leurs pratiques particulieres, quoiqu'elles ne soient toujours que quelques légeres modifications des maximes générales, constituent comme un héritage tout extraordinaire, qui ne se transmet presque jamais que de pere en fils. Il faut cependant l'avouer encore;

core ; le grand mal vient moins du myſtere qu'on a fait mal-à-propos des préceptes de cet art, que de leur limitation ou de leur imperfection ; & c'eſt peut-être ce qu'ont aſſez ſenti les Conſtructeurs, pour qu'une mauvaiſe honte ou la crainte de ſe déceler en nous laiſſant voir leur extrême indigence, les porte à uſer d'une continuelle reſerve à notre égard.

Il ſuffit de fréquenter les ports de mer, ou de s'informer de ce qui ſe paſſe à ce ſujet chez toutes les nations qui cultivent la Marine, pour s'aſſurer que nous ne ſommes pas coupables de l'exagération la plus légere. On verra qu'on défere tous les jours dans des circonſtances très-importantes au ſimple tâtonnement, à celui qui eſt le plus ſujet à tromper : on change la forme des navires par leur haut, on leur ajoute un nouveau pont ou on le retranche, on altere auſſi totalement la figure de leur carene, & on conſent à faire tous ces changemens ſans ſçavoir quel en ſera l'effet immédiat, ou celui qui doit ſe manifeſter dans le port même ; pendant qu'on pourroit ſe déterminer d'une maniere auſſi préciſe qu'infaillible, en employant les moindres connoiſſances de Géométrie & les plus ſimples opérations d'Arithmétique. Il ne faut pas douter que la poſtérité ne s'étonne un jour de la conduite qu'on a tenue & qu'on tient encore à cet égard, dans un ſiecle auſſi éclairé que le nôtre.

D'autres fois on veut faire prévaloir une certaine qualité dans la conſtruction ; on obſerve pour cela avec plus de rigueur les maximes les plus généralement approuvées ; & on produit un effet tout contraire à celui qu'on ſe propoſoit. Démonſtration inconteſtable, que le grand nombre de circonſtances dont ce ſujet eſt ſurchargé, eſt cauſe qu'on ne ſçait de laquelle dépend le bon ou le mau-

vais ſuccés, & qu'on n'a pas le ſecret de les démêler. Nous ne diſons pas encore aſſez ; car il n'eſt que trop ordinaire qu'on n'évite le péril de l'expérience qu'en ne s'y expoſant pas. Preſque toutes les nations de l'Europe peuvent en rendre témoignage : il ſort de tems-en-tems de leurs chantiers, & non de leurs ports, des navires dont l'imperfection n'eſt point équivoque, & qui ne donnent pas même lieu à la triſte conſolation, de dire qu'ils ſe ſont mal comportés en mer.

Il ſert très-peu, ou plutôt il devient inutile de recourir à l'avis de pluſieurs Conſtructeurs ; on ne fait autre choſe que ſe livrer à de plus grandes incertitudes. Il arrive toujours qu'ils penſent différemment les uns des autres ; & néanmoins chacun allegue également en ſa faveur ſa propre pratique, ou l'ennuyeux & long dénombrement des navires qu'il a déja conſtruit. Comme il leur eſt impoſſible de ſe concilier, parce qu'ils n'ont aucun moyen pour le faire, nul principe commun dont ils conviennent ou dont ils puiſſent partir, nulle regle, nul indice même pour diſcerner le vrai, ou pour le faire connoître, ils ſont réduits à répéter continuellement les mêmes aſſertions, au lieu de preuves. On ne peut mieux les comparer qu'à un grand nombre de perſonnes, qui tout occupées de commerce, ne connoîtroient dans l'échange de leurs marchandiſes ni l'uſage des balances ni celui des meſures. Chaque Conſtructeur ne peut auſſi que perſiſter dans ſon opinion, ne pouvant ni convaincre ſon adverſaire ni en être convaincu ; ainſi il faut abſolument ſe hâter d'interrompre la diſpute, qui, à la honte de l'art, ne manqueroit pas de s'échauffer, mais ſans devenir plus inſtructive. Quel parti peut-on ſuivre après cela ? Il faut bien malgré ſoi imiter ces Juges groſſiers, qui, incapables de diſtinguer les cir-

conſtances, partagent tous les différends par la moitié. C'eſt le dénouement qu'ont ordinairement ces ſortes de conſultations, quoiqu'il fût quelquefois très-à-propos d'embraſſer un des avis extrêmes, ou même d'inſiſter & d'aller au-delà; ſuppoſé qu'on fût capable d'agir avec lumiere, ou que, pour parler comme il échappe quelquefois de le faire aux Marins, *on ne fût pas encore très-éloigné de ſçavoir ce que la mer demande;* nous nous ſervons de leurs propres termes.

Ainsi il s'en faut beaucoup, lorſqu'on apprécie les maximes ordinaires, en les mettant à leur juſte valeur, qu'on puiſſe les regarder comme des eſpeces d'arrêtés ou de comptes faits, vérifiés par une longue expérience, auxquels on ne ſauroit mieux faire que de ſe conformer. C'eſt l'aſpect le plus favorable ſous lequel on nous les offre quelquefois, en prétendant, malgré toutes les raiſons contraires & une infinité d'évenemens qui ne parlent que trop, qu'elles ſont ſuffiſamment autoriſées par l'approbation ou le conſentement unanime des gens de mer. Mais il eſt certain que pluſieurs cauſes ont empêché dans tous les tems de faire des eſſais ſur des ſyſtêmes de conſtruction très-différens les uns des autres. Il arrive à l'égard de l'Architecture navale, quoique dans un autre ſens, ce qu'on voit fréquemment dans les autres parties de Méchanique, où ſouvent une machine exécutée en petit eſt un foible garant du ſuccès de la même machine exécutée en grand. Nous diſons que c'eſt dans un ſens tout contraire à l'égard de la conſtruction; car il eſt comme impoſſible de faire réuſſir un petit navire de quelques pieds de longueur, deſtiné à ſervir de modele. C'eſt pourquoi le Conſtructeur ne pouvant s'inſtruire par des eſſais particuliers & ſecrets, n'a garde de ſacrifier ſa réputation & ſa fortune à la vaine gloire de faire des découvertes, en s'engageant dans des

épreuves téméraires. Il aime beaucoup mieux ne ſe propoſer qu'une certaine ſorte de ſuccès, & en être sûr, en prenant le parti que lui dicte, non pas la timidité, mais plutôt la prudence, de ſuivre d'une façon ſervile les ſentiers uniques qu'il voit déja frayés.

Il faut enfin convenir avec le P. Hoſte, que la pratique livrée à elle ſeule & dénuée de tous les ſecours de la théorie, ne peut pas faire découvrir les vraies regles en un pareil ſujet. Le navire eſt un tout ſi compoſé, que chaque changement fait à une ſeule partie, eſt le commencement d'une infinité de diſpoſitions ou de combinaiſons différentes, dont chacune doit avoir un ſuccès particulier. On ne peût, par exemple, toucher à la largeur de la carene ſans ſe mettre dans la néceſſité de changer toutes les autres parties. C'eſt par cette raiſon que les expériences qu'on a pu ſe permettre, ſont ſi ſouvent contraires, qu'il ſemble qu'on n'en peut tirer aucune conſéquence, ou qu'on en peut inférer de tout oppoſées. Un changement ſeroit avantageux, & il ne produit cependant que des effets funeſtes, parce qu'on ne va pas ſaiſir dans la multitude tous les autres changemens qu'il exigeroit, ou qui en ſont comme des ſuites. On condamne la premiere diſpoſition, on croit avoir expérimenté qu'elle eſt dangereuſe: au lieu qu'il eſt ſeulement vrai qu'on n'a pas ſçu en tirer parti, faute d'avoir mis entre toutes les autres meſures la correſpondance néceſſaire.

Si l'expérience ou la pratique ſeule avoit pu réuſſir ſur quelque point, c'étoit en réglant les dimenſions de la mâture, lorſqu'un vaiſſeau eſt *donné*. Il eſt cerrain qu'il ne ſe préſente pas de queſtion plus ſimple dans toute cette matiere; car que le vaiſſeau ſoit bien ou mal conſtruit, qu'il ſoit deſtiné à être bon ou mauvais voilier, il eſt tou-

jours une certaine disposition de mâture qui doit être la meilleure ou la moins mauvaise; & il est clair qu'on écarte les plus grandes difficultés de la recherche, aussi-tôt qu'on ne se propose pas de toucher au navire, & que sa forme est déja déterminée. Mais si on a manqué jusqu'à présent, dans la Marine, ce problême, quoique plus facile: si on s'est trompé, & même d'une maniere grossiere, sur le rapport qu'il doit y avoir entre la hauteur des mâts & la grandeur du navire, que ne faut-il pas penser de toutes les autres parties de la construction, qui ne pourroient se régler que par des tentatives faites avec infiniment plus d'art? La difficulté est incomparablement plus grande, lorsqu'une infinité de différentes dispositions se combinent réellement avec une infinité d'autres, & qu'il faudroit les examiner toutes. Pour chaque distribution de la charge, il est une certaine disposition de la mâture, qui est la meilleure; mais il faut sçavoir aussi quelle est la meilleure disposition de la charge & sa quantité. Ainsi après avoir donné un certain arrangement au lest & à tout ce qui augmente le poids, il ne suffiroit pas d'envoyer le navire une infinité de fois en mer avec des mâtures différentes, il faudroit répéter encore la même chose une infinité d'autres fois, en donnant d'autres dispositions à la charge. Enfin ce ne seroit point assez, puisque chaque partie du vaisseau contribue à la perfection du tout, non-seulement la mâture, non-seulement la charge, non-seulement les principales dimensions de la carene, mais aussi toute sa figure, la courbure de ses flancs, la saillie de sa proue. Et nous le répétons encore, que la perfection dont doit jouir chacune de ces parties, dépend de la relation qu'elle a avec toutes les autres dont la multitude est infinie, & qui doivent être chacune à part également parfaites. Discussion qui enga-

geroit réellement, comme on le voit, dans un nombre d'essais, non pas simplement infini, mais infiniment infini.

Il est donc certain que, quoique la pratique soit d'une extrême nécessité & qu'on ne puisse trop la recommander, elle est cependant d'un usage trop peu étendu, lorsqu'on la laisse à elle seule dans la circonstance présente. Sa trop grande limitation est un vice inséparable de sa nature, & qui se fait sentir dans une infinité d'autres rencontres. C'est qu'elle est originairement stérile, c'est qu'elle ne fournit lorsqu'elle est absolument seule, que des connoissances qui n'en produisent point d'autres, ou qui restent toujours renfermées dans les premieres bornes qu'on leur a données. Comme le Praticien, si on peut s'exprimer de la sorte, ne s'instruit qu'à mesure qu'il se trouve placé dans de nouvelles circonstances, il ne faut rien moins qu'un nouvel évenement pour lui procurer quelque degré de connoissance de plus. Il verra l'effet de diverses manœuvres, il éprouvera combien l'action d'une puissance est quelquefois multipliée : mais bien loin de pouvoir résoudre les grands problêmes que nous venons d'indiquer, il ne sera pas même en état de prononcer avec certitude à l'égard des cas plus simples sur lesquels ses essais ne l'auront pas également instruit. Il ne lui sera pas possible d'avancer un pas de plus, faute de sçavoir, ou même de soupçonner que toutes ces actions sont soumises à certaines loix qu'il seroit important de connoître. Qu'on fasse intervenir au contraire les lumieres de la spéculation ; il est vrai, & on ne sçauroit le dire trop de fois, qu'il faudra toujours y joindre les expériences, ou ces connoissances de fait dans lesquelles consiste la pratique ; mais la théorie s'en servira ensuite comme de principes, elle en tirera des inductions sûres ; & étendant ses vues à tous les autres

cas, & jusqu'à l'infini, car elle n'est pas arrêtée par les mêmes bornes que la pratique, elle tiendra effectivement lieu d'une infinité d'autres expériences qu'il n'eût jamais été possible d'exécuter.

On peut juger sur cet exposé de l'état où étoit il y a quelques années l'Architecture navale; mais depuis on s'est ouvert de nouveaux chemins. Plusieurs Constructeurs, que nous pourrions nommer, se sont acquis une grande réputation; & si nous en avions un plus grand nombre, la face des choses seroit absolument différente. Je n'indiquerai pas tout ce qu'ils ont fait pour la perfection de leur art, il suffit, pour justifier ce que j'avance, de citer un seul point, l'avantage qu'ils ont découvert dans l'alongement de leurs vaisseaux. Une seule circonstance manquée, pouvoit, en empêchant le succès, faire prendre le change comme il étoit arrivé une infinité d'autres fois: mais j'ai sçu qu'on se conformoit à Brest à cette nouvelle observation sous les yeux de M. Ollivier, habile Ingénieur, à peu près dans le même tems qu'au-delà des mers, & dans un des endroits de la terre le plus reculé, les principes théoriques & féconds que je suivois me conduisoient par d'autres routes à cette même remarque. Nous avons obligation de tous ces heureux changemens aux vues sublimes du Ministre éclairé qui a dans son département la Marine, & qui décidé par le goût qu'il a pour toutes les Sciences, s'en est déclaré le Protecteur. Il a excité les Constructeurs par le plus puissant de tous les motifs: il a mis en honneur leur profession; & il est certain qu'elle mérite d'en être comblée, aussi-tôt qu'ils l'exerceront avec connoissance de cause; aussi-tôt que, supérieurs à leur métier, ils substitueront à leurs pratiques imparfaites des regles lumineuses & précises; aussi-tôt qu'ils ne produiront plus de plan sans

l'appuyer de calculs juſtificatifs, dans leſquels chaque propriété que doit avoir le navire ſera diſcutée & évaluée avec exactitude ; auſſi-tôt enfin que la Géométrie & la Phyſique, prenant la place qu'avoit uſurpé le hazard, ou le tâtonnement, l'Architecture navale fondée ſur des principes certains, ſera réellement un art.

Je m'applaudirois beaucoup ſi ce Traité pouvoit contribuer à un objet ſi important & ſi utile. Je n'ai épargné aucune peine pour tâcher de répondre à l'engagement que je prenois, lorſque je me ſuis déterminé à appliquer à cette matiere le peu que je ſçais de Mathématiques. Ce n'eſt auſſi qu'après m'en être occupé très-long-tems que je me ſuis haſardé de jetter mes remarques ſur le papier ; & je ne l'ai fait au Pérou, comme je l'ai dit ailleurs, qu'afin de mieux profiter de l'occaſion que je devois avoir enſuite en mer pendant mon retour, de reconnoître s'il y avoit quelque choſe à y changer. C'eſt en travaillant à ce Livre ſur les plus hautes montagnes du monde, que je tâchois de ne pas perdre les ſemaines & les mois par leſquels il falloit quelquefois acheter un ſeul inſtant de beau tems, pour pouvoir vaquer aux opérations actuelles de la meſure de la Terre. Le Livre étoit entierement achevé : il y a même plus de quatre ou cinq ans, comme je l'écrivis alors en France, que me voyant tous les jours à la veille de mon départ de Quito, j'en dépoſai une copie entre les mains d'une perſonne ſûre, pour ſervir de duplicata. Enfin j'ai conſidéré que ſi mon travail devoit avoir quelque fruit, je ne pouvois trop me hâter de le rendre public, & j'ai cru qu'il étoit bon de le faire précéder de la relation de mon voyage ; ce qui me donneroit en même tems plus de loiſir pour mettre en ordre tous les matériaux qui doivent y entrer. Si le Traité que je préſente actuellement

forme

forme un aſſez gros volume, c'eſt que le ſujet eſt extrêmement vaſte; le navire conſidéré dans tous ſes différens états, & par rapport à tous ſes divers uſages. Ce n'eſt pas aſſez de ſe le repréſenter lorſque, chargé d'un poids énorme, il eſt à l'ancre dans une rade, & expoſé, ſi on le veut, à l'agitation d'une mer orageuſe, il faut principalement l'examiner lorſqu'il fait route, qu'il ſingle avec vîteſſe, qu'il double un cap, qu'il s'éloigne difficilement d'une côte. Cette diſtinction feroit naturellement le partage de notre ouvrage; ſi ce n'eſt que nous avons cru devoir ajouter un premier livre, qui eſt à certains égards l'extrait des deux autres qu'il précede, & dans lequel nous nous ſommes attachés à faire entrer beaucoup de choſes de pratique.

Je ne diſſimulerai pas, puiſque je puis le dire ſur la foi des démonſtrations, que je crois avoir réuſſi à donner des moyens infaillibles pour ſe décider entre différens plans propoſés pour le même navire. On ſçaura deſormais ſe déterminer ſûrement entre les divers avis des Conſtructeurs; & la multitude de leurs opinions bien loin d'être nuiſible, ſera au contraire profitable, puiſqu'elle donnera ſouvent lieu de faire un meilleur choix. J'ai, pour ainſi dire, réduit le tout à la meſure, ou à la balance, je l'ai rendu une affaire de calcul: mais je ne me ſuis pas renfermé dans ce ſeul examen, qui ſeroit quelquefois trop limité; j'ai tâché de m'élever juſqu'à la conſidération de toutes les formes poſſibles de navires, & de choiſir dans cette multitude, quoique infinie. Ainſi un des moindres avantages que pourra avoir mon travail, ſi je ne me flate point trop, c'eſt qu'il ne tiendra qu'au Conſtructeur de ne plus manquer ſon ouvrage de cette maniere dangereuſe qui, en cauſant ſa ruine, entraînoit auſſi celle du Public: il ne ſera plus expoſé à la peine & à la honte de rien tenter

témérairement, il ſera toujours en état d'aſſigner ou de prévoir tout le ſuccès que doit avoir ſon entrepriſe ; & on ſera auſſi toujours à portée, en vérifiant ſes ſupputations, de voir le fond qu'on peut faire ſur ſes promeſſes. Au ſurplus, le deſir ſincere que j'ai de ne commettre d'injuſtice à l'égard de perſonne, me fait avouer que j'ai ſouvent été aidé par les ſolutions, même imparfaites, qu'on trouve dans divers écrits qui ont rapport à ce ſujet, ſans compter que quelquefois elles ont été accompagnées de vues excellentes. Mais j'aurois tort de confondre avec ces divers ſecours ceux que m'a pu fournir la piece ſur la mâture des vaiſſeaux, d'un de nos Académiciens *, qui n'avoit point vu de navire lorſqu'il l'écrivoit, & qui a réuſſi néanmoins à nous donner un ouvrage plein de recherches, & très-différent de beaucoup d'autres qui paroiſſent de tems en tems ſur les matieres de Marine.

* M. Camus.

Il ne reſte plus qu'à dire un mot ſur la plus grande difficulté qu'on trouvera à appliquer les nouvelles maximes que nous ſubſtituons aux anciennes. Les Conſtructeurs, pour établir celles-ci, s'étoient contentés d'employer les rapports les plus ſimples & des rapports invariables, s'imaginant mal-à-propos que les parties des vaiſſeaux de différentes grandeurs ſuivoient toujours exactement les mêmes proportions ; ou plutôt ne portant pas leur vue aſſez loin pour découvrir d'autres relations, & s'arrêtant à ce qui s'offroit à eux ſans la peine d'aucune recherche. On juge aſſez que toutes les fois que le rapport ſimple ne doit pas ſubſiſter, ou qu'au lieu de faire croître certaines parties proportionnellement, on doit les faire changer ſelon quelqu'autre loi, les nouvelles regles ne peuvent manquer de ſe trouver plus difficiles : & il pourra même arriver que toute perſonne ne ſoit pas en état de les appliquer. Il y a

ſans doute moins de notre faute en cela que ſi écrivant ſur l'Architecture militaire, nous ne réuſſiſſions pas à nous mettre à la portée des lecteurs qui n'ont aucun principe de Géométrie. Mais cet inconvénient n'en eſt plus un, auſſi-tôt que la conſtruction des vaiſſeaux ceſſe d'être abandonnée à la direction des ſeuls ouvriers, & qu'on leur aſſocie dans leur ouvrage des perſonnes qui ſont incomparablement plus inſtruites. Nous avons d'ailleurs toujours fait enſorte, en déduiſant nos maximes, qu'on ne fût point obligé, en les obſervant, d'entrer dans les diſcuſſions longues & épineuſes qui leur ſervent de fondement. Ainſi il faut bien diſtinguer ici en fait de difficulté, entre l'application de nos regles & les examens pénibles dans leſquels elles nous ont engagés, ou pour les vérifier, ou pour les découvrir.

Nous euſſions ſouhaité pouvoir éviter même dans cette ſeconde eſpece de travail tout uſage des calculs algébriques, qui ſont preſque toujours trop rebutans, par l'eſpece d'obſcurité qui en eſt comme inſéparable. Le lecteur jugera, après avoir mûrement peſé la choſe, ſi on ne s'eſt pas trouvé ici plus d'une fois dans le cas où il étoit comme indiſpenſable d'y avoir recours. On peut blâmer ceux d'entre les Géometres qui employent quelquefois ce ſecours pour démontrer des vérités ſi peu reculées, qu'elles ſont à leurs pieds & qu'ils y touchent : on n'eſt point excuſable de ſe ſervir ſans néceſſité d'un grand appareil d'inſtrumens ou de machines pour n'opérer que des choſes faciles. L'Algebre alors avilie par le mauvais uſage qu'on en fait, au lieu d'être de tous les moyens le plus propre à ſuppléer à la limitation de nos facultés, n'eſt plus que celui d'embrouiller les matieres & d'en interdire l'entrée à pluſieurs lecteurs qui ſeroient capables de les entendre, ſi

elles n'étoient pas énoncées pour eux dans une langue étrangere. Nous avons quelques livres qui donnent vogue à cet abus par la réputation de leur auteur: on est réduit à n'y voir la vérité que sous le voile d'énigmes, quoiqu'il s'agisse quelquefois de matieres connues d'ailleurs & déja traitées avec clarté; & on est allé jusqu'à vouloir, en troublant l'ordre des choses, nous faire préférer cet emploi des symboles aux connoissances qui naissent du fond même du sujet. Mais de même qu'il n'est pas possible de se passer des lumieres de la Géométrie élémentaire dans une infinité de cas, il est encore plus nécessaire dans d'autres rencontres, lorsque la nature des problêmes l'exige, de recourir à la haute Géométrie; malgré ce que disent quelques personnes qui paroissent s'être conjurées contre cette science supérieure, & qui cherchent peut-être à se consoler du peu de progrès qu'elles y ont fait. Comment comparer en effet un grand nombre de quantités ou de conditions qui ne peuvent être représentées que par des courbes d'un genre fort élevé, ou par des équations formées d'un grand nombre de termes? Vouloir se priver alors du secours nécessaire de l'Algebre, c'est comme si l'on entreprenoit, sans rame, sans voile, & même sans radeau, de franchir à la nage une vaste mer. Il suffit enfin, pour nous disculper entierement, d'avouer que nous n'avons pas pu faire mieux: quant à l'ordre particulier que nous avons suivi, la Table des Chapitres l'indiquera assez exactement.

Fin de la Préface.

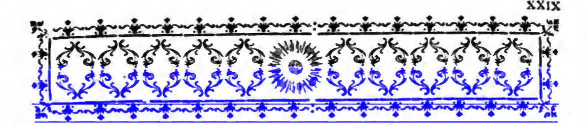


TABLE DES CHAPITRES

CONTENUS DANS CE TRAITÉ.

LIVRE PREMIER.

Idée générale de la Construction, avec diverses remarques sur les regles ordinaires.

PREMIERE SECTION.

Où l'on traite de la figure du Vaisseau & de ses parties intérieures.

SECONDE SECTION.

Des Agreils ou Apparaux du Navire.

TROISIEME SECTION.

De la résistance, ou de la force dont toutes les parties du Vaisseau doivent être capables.



LIVRE SECOND.

Du Vaisseau considéré à flot, mais lorsqu'il ne single pas.

PREMIERE SECTION.

De la pesanteur du Vaisseau, & de la force qu'a l'eau pour le soutenir.

SECONDE

SECONDE SECTION.

De la diſtribution de la peſanteur du Vaiſſeau, & de la poſition qu'on doit donner au centre dans lequel ſe réunit cette peſanteur.

TROISIEME SECTION.

De la distribution de la pesanteur du Vaisseau par rapport au mouvement du roulis.

LIVRE TROISIEME.

Du Vaisseau considéré en mouvement.

PREMIERE SECTION.

Où l'on examine les loix que les fluides observent dans leur choc; le vent en frappant les voiles, & l'eau en rencontrant la partie antérieure de la carene.

SECONDE SECTION.

Où l'on tente la solution générale des principaux Problêmes de manœuvre.

TROISIEME SECTION.

Du Vaisseau considéré par rapport à la propriété qu'il doit avoir de bien gouverner, tant par le moyen du gouvernail, que par le moyen des voiles.



QUATRIEME SECTION.

Où l'on examine le Vaiſſeau par rapport à la qualité qu'il doit avoir de bien porter la voile, ou de recevoir une voilure avantageuſe.

CINQUIEME SECTION.

Du Navire considéré par rapport à la rapidité de son sillage & à la propriété qu'il doit avoir de dériver peu dans les routes obliques.

Fin de la Table des Chapitres.

TRAITÉ



TRAITÉ DU NAVIRE, DE SA CONSTRUCTION, ET DE SES MOUVEMENS.

LIVRE PREMIER.

Idée générale de la Conſtruction, avec diverſes remarques ſur les regles ordinaires.

Qui dubiis auſus committere flatibus alnum,
Quas Naturâ negat, præbuit Arte vias. *Claud.*



NOus nous propoſons en traitant de la conſtruction des Vaiſſeaux, & de la Mécanique de leurs mouvemens, de ſubſtituer, s'il ſe peut, des regles exactes & préciſes, aux pratiques obſcures & tâtonneuſes qui ſont en uſage dans la Marine. L'Architecture Navale, à parler

dans la rigueur, n'a point été un Art jusques à présent; nous voulons faire ensorte qu'elle en devienne un, & qu'on n'agisse désormais dans toute cette matiere qu'avec lumiere & pleine connoissance de cause. Il est certain que ce sujet est digne par une infinité d'endroits de l'attention des Lecteurs & de celle des plus habiles Mathématiciens. Outre qu'il s'agit du salut & de la conservation des Marins qui ne craignent pas de s'exposer aux plus grands périls pour notre propre utilité, on ne sçauroit trop travailler à perfectionner un Art, qui après nous avoir appris, contre notre attente, qu'il y avoit des peuples au-delà des mers dans les endroits les plus reculés de la Terre, nous rend leur commerce extrémement facile, nous met à portée de leur communiquer nos loix & nos usages, & qui réussit si heureusement à nous procurer les richesses de tous les divers Païs. D'un autre côté, le Vaisseau dirigé ou animé, pour ainsi dire, par le Manœuvrier, constitue comme une admirable machine, ou comme un grand Automate, qui ne tient pas moins du poisson par la forme de sa carène, que de l'oiseau par l'usage de ses voiles : il ne doit pas moins à l'une qu'à l'autre de ces conformités l'avantage de franchir les plus grands espaces avec la plus extrême promptitude. Rien ne fait plus d'honneur à l'invention & à la hardiesse des hommes que le succès d'une pareille entreprise, & on peut à juste titre la regarder comme leur chef-d'œuvre. Jamais ils n'ont travaillé à aucun ouvrage, où il soit nécessaire d'une connoissance plus profonde des forces mouvantes, où il s'agisse d'intérêts plus importans, où le Physique se trouve plus mêlé avec le Géométrique, où enfin toutes les parties en plus grand nombre ayent des dépendances plus étroites & plus secrettes.

Quoique nous soyons disposés à changer entierement, s'il le faut, les pratiques anciennes, nous tâcherons cependant de profiter de ce qu'elles peuvent avoir de bon; & nous ne ferons autre chose que les corriger ou les mo-

difier, lorſque ce ſimple changement nous paroîtra ſuffire. C'eſt ce qui nous invite en partageant ce Traité en trois Livres, de deſtiner autant ce premier à repréſenter l'état actuel de la Conſtruction qu'à donner une idée générale de cette partie de notre ſujet, & ce ne ſera que dans les deux Livres ſuivans que nous nous livrerons plus particulierement aux nouvelles recherches que nous croirons indiſpenſables. Dans le ſecond, nous examinerons la peſanteur du Vaiſſeau, l'eſpace qu'il occupe dans la mer & toutes les circonſtances de ſon état, lorſqu'il flote, mais qu'il ne ſingle pas. Dans le troiſiéme, nous le conſidérerons en mouvement, & nous tâcherons de développer toutes les particularités de ce ſecond état ; objet principal, ou plutôt unique, qu'on doit même avoir en vue dans les autres diſcuſſions. Si les deux ſujets, la Conſtruction des Vaiſſeaux & la Mécanique de leurs mouvemens, ne ſont pas abſolument inſéparables, il eſt au moins clair qu'on ne peut pas traiter le premier à fond & juſqu'à l'établir ſur des principes certains, ſans examiner le ſecond ; puiſque les Navires ne ſont faits que pour ſe mouvoir.



PREMIERE SECTION.

Où l'on traite de la figure du Vaisseau & de ses parties intérieures.

CHAPITRE PREMIER.

Des différentes especes de Navires.

APeine la Navigation fut-elle inventée qu'on se hâta, pour ainsi dire, d'en changer l'usage, en renonçant en partie aux avantages qu'elle offroit. Dans le dénombrement des différens ordres de Navires que nous sommes obligés de faire, nous commencerons par les plus grands, & ce sont ces mêmes qui étant actuellement chargés & encore plus embarrassés de leur propre artillerie, ne sont d'aucune utilité, si ce n'est pour la guerre. On les distingue en différens rangs ou en différentes classes : cette distinction est toujours fondée, ou sur le nombre de canons qu'ils peuvent porter, ou sur la multitude d'étages qu'ils ont principalement vers la poupe.

I.

Des Vaisseaux du premier rang.

Les premiers, ou ceux qu'on nomme du *premier rang*, sont armés de 100 ou 120 canons, ils ont de longueur, 170 ou 180 pieds, de largeur un peu moins de 50, & leur artillerie est distribuée de chaque côté en trois batteries complettes placées par étages les unes au-dessus des autres. Ces étages sont formés par trois especes de planchers qu'on nomme *Ponts*, & le supérieur en particulier *le Tillac*. Chaque batterie est composée de chaque côté du

Vaiſſeau de 15 ou 16 canons : les embraſures qui prennent dans les Vaiſſeaux le nom de *Sabords*, ont un peu plus de trois pieds de largeur pour les plus gros canons, pour ceux de 36 ou de 48 livres de bale ; & leur intervale eſt ordinairement de 7 ½ pieds. Outre ces trois batteries complettes, on met le plus ſouvent cinq canons de chaque côté ſur un demi-pont qui eſt plus haut, qu'on nomme le *Gaillard*, lequel commençant à l'arriere, vient ſe terminer vers le milieu du Navire. Il y a auſſi du canon ſur le gaillard ou *Chateau d'avant*, ordinairement trois de chaque côté ; & enfin au-deſſus du gaillard de l'arriere, il y a encore deux étages qu'on nomme *Dunettes*, & on met au moins ſur la premiere du canon de petit calibre.

La premiere batterie, c'eſt-à-dire, la plus baſſe, eſt formée de canons de 48 livres de bale, & il y en a 15 de chaque côté. La ſeconde batterie, qui eſt immédiatement au-deſſus, a des canons de 18 livres, & il y en a 16 de chaque côté, le Navire étant en haut un peu plus long : ces canons répondent exactement au milieu des intervales de ceux de la premiere batterie qui ſont au-deſſous. Enfin la troiſieme qui eſt celle du tillac, a du canon de 12 livres, & il n'y en a que 15 de chaque côté, quoique le Navire ſe trouve encore un peu plus long ; mais on veut conſerver un grand eſpace, ſur tout en arriere, pour la commodité du logement. Les canons des gaillards ſont de 8 livres, & ceux de la premiere dunette ſont de 4. Comme on ne conſtruit gueres de Vaiſſeaux du premier rang l'uſage n'a rien de décidé bien abſolument ſur tout cela. La longueur du Navire devient déterminée par le nombre des canons qu'on veut donner à la premiere ou à la ſeconde batterie : car l'expérience a montré qu'il faut mettre pour le ſervice de l'artillerie l'intervale qu'on a indiqué, 7 pieds & demi, ou au moins 7 pieds entre les ſabords, afin que le feu que répand un canon par ſa bouche ou par ſa lumiere ne puiſſe pas ſe communiquer aux autres, & qu'outre cela les Canonniers ne ſe trouvent pas gênés. Il y auroit moins d'inconvénient à augmenter les

intervales, & c'eſt ce qu'on a fait quelquefois. Une batterie de 16 canons, y compris ſes deux extrêmités, occupe de cette ſorte plus de 170 pieds de longueur.

Les Vaiſſeaux du *premier rang* ont, comme on le voit, trois ponts & demi & deux dunettes; de ſorte que ſans compter la *cale* ou la capacité intérieure qui eſt embarraſſée par la charge & par les munitions, ils ont vers la poupe cinq étages les uns au-deſſus des autres, diſtingués par ſix planchers. Ces cinq étages ont des retranchemens pour ſervir à la retraite des Officiers, & pour ſervir auſſi à leur aſſemblée commune. Il y a une trentaine de chambres & il ne faut pas moins d'une vingtaine d'Officiers pour tout régler dans un Navire où l'on eſt continuellement en action, & dont l'Equipage eſt d'environ 1200 hommes. Chacun des cinq étages a peu de hauteur, on le juge aſſez; celui de la *Chambre de Conſeil*, qui eſt au-deſſus du troiſiéme pont ou du *tillac*, n'a pas ordinairement 7 pieds, & le moindre qui eſt celui de la ſeconde dunette ou de la dunette ſupérieure, n'en a pas 5 : mais ces étages font enſemble une hauteur qui ne peut pas manquer d'être nuiſible. Le poids de tous les matériaux qui forment les appartemens & ces planchers immenſes qui forment les ponts, joints à la peſanteur de l'artillerie, ſont cauſe que le centre de gravité de tout le Vaiſſeau, ou ſon point le plus peſant, eſt preſque toujours trop élevé. Outre cela le vent qui frape avec force ſur cette poupe ſi haute, fait ſouvent tort à l'effet des voiles. Depuis quelques années on a en France ſupprimé preſque entierement les dunettes ſupérieures, & ce retranchement n'a dû produire que d'excellens effets par rapport à la Navigation.

Vaiſſeaux du ſecond rang.

Les Vaiſſeaux qu'on nomme du *ſecond rang*, n'ont que trois pont & deux dunettes, de ſorte qu'il leur manque ce demi-pont ou ce grand gaillard qui caractériſe les premiers : & leur poupe n'a que quatre étages. Ils ont bien un gaillard, mais qui au lieu d'être de la moitié de la longueur du Navire, n'en eſt gueres que le tiers, & encore eſt-il compté lorſqu'on dit que ces Navires ont deux du-

nettes. Ils ont 150 ou 155 pieds de longueur, & sont armés de 80 ou 90 canons. Depuis qu'on a suprimé les dunettes supérieures, il paroît qu'on confond quelquefois le second rang avec le premier, & qu'on fait entrer maintenant dans le second, des Vaisseaux qui appartiennent plutôt au troisiéme dont nous allons parler, mais qui sont cependant un peu plus grands. L'usage n'a fait encore que changer la signification du nom de rang, & n'a pas réussi à la fixer.

Vaisseaux du troisième rang.

Les Vaisseaux *du troisiéme rang* ont 135 ou 145 pieds de longueur, ils sont *montés* de 60 ou 70 canons, & ils n'ont que deux ponts & demi avec une seule dunette; ce qui ne leur donne que trois étages vers la poupe. Les Marins qui ont frequenté le plus la mer, assurent tous unanimement que ce sont ces sortes de Vaisseaux qui se comportent le mieux dans les tempêtes, & ils le feroient encore beaucoup mieux s'ils n'étoient pas tant chargés d'artillerie, quoiqu'ils n'en ayent pas ordinairement sur leurs dunettes. Un vent qui est trop impetueux pour un petit Navire, ne fait que mettre celui du troisiéme rang en mouvement, le fait marcher avec plus de vîtesse, on le fait passer plus promptement d'une route à l'autre. Il est préférable aussi presque toujours aux Vaisseaux des deux premiers rangs, parce que ces derniers sont encore plus chargés d'artillerie à proportion; qu'ils sont encore plus pesants par en haut, & qu'outre cela leur seule grandeur leur devient souvent funeste. Dans les tempêtes ces plus grands Vaisseaux se trouvent livrés à toute la fureur du mauvais tems, parce qu'il est peu de Ports assez profonds où ils puissent se retirer: & lorsqu'il fait peu de vent, ce ne sont plus au contraire que de lourdes machines qui devenant quelquefois immobiles dans une action, sont investies aisément de tous côtés par d'autres Navires moins forts. Au reste ces trois différens ordres, constituent les Vaisseaux proprement dits, ou les *Vaisseaux de ligne;* & tous ceux qui sont au-dessous, n'ont plus que le nom de *Frégates.*

Les Vaisseaux des trois premiers rangs, les Vaisseaux

à trois ponts & demi, les Vaiſſeaux à trois ponts & les Vaiſſeaux à deux ponts & demi, ſont dits *de ligne*, parce qu'ils ſont propres à ſoutenir le combat dans les Armées navales, & à s'arranger ſur une ligne droite, pour préſenter leur flanc à l'ennemi. De moindres Navires, comme ceux du quatriéme rang qui n'ont que cinquante canons, ou ceux du cinquiéme qui n'en ont que 30, ne peuvent pas ſuppléer par leur grand nombre, parce qu'ils n'ont pas des canons aſſez gros, & que pendant qu'ils ſont extrémement maltraités par l'artillerie des plus grands Vaiſſeaux, ils ne peuvent faire que très-peu de tort à ceux-ci qui ſont beaucoup plus hauts & beaucoup plus forts en bois. Cela n'empêche pas cependant qu'au défaut d'autres, on n'introduiſe quelquefois dans les Armées navales, lorſqu'il s'agit même du combat, des Frégates ou des Navires qui ont moins de 60 canons, & qui ne différent ordinairement des Vaiſſeaux du troiſiéme rang, que par la grandeur, ſans en différer par la forme.

Vaiſſeaux de ligne.

II.

On a déja dit que tous les Navires qui ont moins de 60 canons, ou qui ſont au-deſſous du troiſiéme rang, ſe nomment *Frégates*. Cependant ce dernier nom ſert principalement dans la Marine à marquer la légereté des Navires, & on l'applique plus particulierement à ceux auſquels on a donné quelques parties de moins, afin de diminuer leur peſanteur. Lorſqu'il eſt queſtion de Navires de guerre, il ſuffit qu'avec deux ponts, ils n'ayent qu'un très-petit gaillard, pour qu'ils ſoient Frégates : & ſi on raſoit un Vaiſſeau du premier rang, en lui ôtant le pont le plus haut, (ce qui peut quelquefois devenir néceſſaire lorſqu'un pareil Vaiſſeau trop chargé par ſes parties ſupérieures, ne peut pas naviger), il n'y a point de doute, vu la légereté qu'il acquerroit & le peu de hauteur qu'il auroit enſuite à proportion de ſa largeur & de ſa longueur, que tous les Marins ne s'accordaſſent à le nommer Frégate, quoiqu'il eût le même nombre d'étages que le Vaiſſeau du troiſiéme

Frégates.

me rang, & qu'il portât encore 78 ou 80 canons, comme les vaisseaux du second. Lorsqu'il s'agit au contraire de navires marchands, dont les plus grands n'ont que deux ponts & dont la fabrique est pesante, on ne donne le plus souvent le nom de frégates qu'à ceux qui n'ont qu'un seul pont.

A l'égard des plus petits navires, ils se subdivisent en un très-grand nombre d'especes ; mais quelquefois leur différence ne consiste que dans la seule disposition de leur mâture. Les *corvettes* sont de petites frégates destinées pour porter des ordres, pour aller reconnoître des navires éloignés, &c. Entre les bâtimens de charge on distingue principalement les *flûtes*, qui sur la même longueur, sont par le dessous beaucoup plus grosses & plus plates que les autres navires. Ce sont des especes de parallelipipedes rectangles dont on n'a fait, pour ainsi dire, qu'émousser les angles. Ces flûtes, qui ont quelquefois deux ponts, quoiqu'elles soient toujours fort étroites, sont principalement en usage en Hollande & dans les autres endroits où l'eau a peu de profondeur, soit dans les ports, soit sur la côte. En France, & encore moins en Angleterre, on ne se sert gueres de ces sortes de bâtimens, & si nous donnons quelquefois le même nom à quelques-uns de nos navires, à cause de quelque leger rapport, ils en different cependant beaucoup. Nos Négocians préferent les bâtimens qui sont moins plats par dessous, parce que s'ils ne portent pas une si grande charge, ils vont en récompense plus vîte, ils sont plus propres à se défendre en tems de guerre & à éviter aussi l'ennemi par la fuite. On a encore les *flibots* & les *houcres* qui sont des especes de flûtes : mais il n'est pas, ce semble, nécessaire de descendre ici dans un plus grand détail, qui paroîtroit mieux convenir à un Dictionnaire. Au lieu que la grandeur des vaisseaux de guerre se désigne ordinairement par leur rang, ou par le nombre de canons dont ils sont armés, on exprime plus souvent la grandeur des navires ou des bâtimens de charge, par le poids qu'ils peuvent porter ; & ce

Corvettes.

Flûtes.

Houcres.
Flibots.

poids eſt ſpécifié en tonneaux, dont chacun peſe 2000 livres, poids de marc.

Il n'appartient qu'aux Souverains de faire bâtir des vaiſſeaux du premier & du ſecond rang, tant les frais en ſont conſidérables ; mais lorſque des particuliers entreprennent d'en faire conſtruire qui ſemblent être du troiſieme, ils ne ſont ordinairement que du quatrieme. On jugera de l'énorme travail qu'exige la conſtruction d'un navire du premier rang, lorſqu'on ſaura qu'il faut employer plus de 4000 chênes, ſans compter une prodigieuſe quantité d'autres bois ; il faut plus de 300 milliers de fer & plus de 130 ou 140 mille journées d'ouvriers. Les vaiſſeaux Royaux ſont auſſi toujours d'un échantillon plus fort que les navires des particuliers : l'intervalle entre leurs canons eſt plus grand ; les ponts ſont plus élevés : de ſorte qu'indépendamment des ornemens & de la ſculpture qui les diſtinguent, on remarque dans l'Architecture Navale à-peu-près cette différence qu'on voit dans l'Architecture Civile, entre les Palais des Princes & les maiſons des ſimples Citoyens. Un Vaiſſeau de Roi de 48 ou 50 canons, eſt auſſi grand qu'un navire marchand qui en porte 60. On demandera peut-être, s'il ne feroit pas à propos de donner moins de canons aux navires des particuliers, ou d'en donner davantage à ceux du Roi. La queſtion paroît fondée : mais il faut faire attention que les vaiſſeaux Royaux ont des canons d'un plus grand calibre, & qu'ils ſont plus forts en bois, ainſi qu'on l'a déja dit ; ce qui eſt comme néceſſaire à cauſe de leur deſtination. Ils doivent préſenter le flanc, non-ſeulement à d'autres navires qui ont une auſſi groſſe artillerie, il faut qu'ils le préſentent encore quelquefois aux citadelles même qui ſont ſur le bord de la mer, & qu'ils puiſſent en foudroyer les défenſes ; ce que les autres Navires ſont fort éloignés d'entreprendre.

III.

Navires de bas-bord.

Toutes les eſpeces de vaiſſeaux & de bâtimens dont

nous venons de parler, ne singlent ordinairement qu'à la voile. Il en est quelques-uns, mais qui sont souvent assez petits, qui sont de 100 ou de 200 tonneaux, ou qui ont 60 ou 80 pieds de longueur, qu'on nomme *galiotes*, *tartanes*, *brigantins*, *bateaux*, *barques*, *&c.* qui vont à voiles & à rames, selon les occasions; & il y a enfin les *galeres* qui sont faites principalement pour aller à rames. Tous ces navires qui vont à rames sont nommés de *bas-bords*, pour les distinguer de ceux de *haut-bords*, entre lesquels on ne laisse pas de mettre les plus grandes frégates, quoique le nom de *haut-bords* convienne particulierement aux vaisseaux de ligne ou des trois premiers rangs. Entre tous les bâtimens de bas-bords, ce sont les Galeres qui ont moins de hauteur au-dessus de l'eau, & cela pour la commodité des Rameurs. L'expérience seule a dû perfectionner aisément ces sortes de bâtimens; apprendre la disposition la plus commode des rames; la longueur de ces rames pour tirer le parti le plus avantageux de la force ordinaire des hommes; la largeur de la galere, qui dépend principalement de la longueur de la partie intérieure de la rame. S'il reste enfin quelque chose à corriger encore, ce doit être seulement la figure de la carene, que le tâtonnement & le long usage n'ont pas pu faire rencontrer avec la même facilité. Cependant comme la proue de la galere, sur une longueur ou une saillie très-considérable, n'enfonce que très-peu dans l'eau, presque toutes les figures qu'on peut lui donner, sont indifférentes, aussi-tôt qu'elles viennent se terminer insensiblement en pointe Ainsi il n'y a point de doute que de tous les navires, ce ne soit celui-ci où il y a le moins à réformer.

Galeres.



CHAPITRE II.

Des principales parties du Vaiſſeau, & leurs proportions ſelon les regles ordinaires.

PERSONNE n'ignore la forme extérieure qu'ont les vaiſſeaux, & que ſi on s'eſt propoſé d'imiter dans leur figure celle des poiſſons qui nagent le mieux, on a voulu en même tems, dans l'arrangement des différentes pieces intérieures qui les compoſent, imiter la ſtructure du ſquélette de la plûpart des animaux. La quille, cette longue poutre, ou plutôt cet aſſemblage de poutres miſes bout à bout, qui eſt au deſſous de tout l'ouvrage, & qui en eſt la baſe, eſt comme l'épine; pendant que toutes les pieces de bois courbées, qu'on nomme les *membres*, & quelques autres fois les *varangues*, les *couples*, repréſentent les côtes de l'animal. La quille eſt la premiere piece qui ſe poſe ſur le chantier; & comme il arrive ſouvent qu'on n'a point de poutres aſſez longues pour la former d'une ſeule piece, on la fait de trois ou quatre parties qu'on joint les unes au bout des autres par des eſpeces d'entailles. On nomme ces entailles, *endentures*, *eſcares*, ou *empatures*; & l'on a ſoin de les rendre aſſez longues, le plus ſouvent de 9 ou 10 pieds, afin de donner plus de force au tout. La quille de nos plus grands vaiſſeaux, de ceux du premier rang, eſt d'environ 150 pieds; c'eſt la longueur qui, pour parler comme les Marins, *porte ſur terre*, quoiqu'elle ſoit faite pour n'y pas porter. Les Conſtructeurs donnent pour l'ordinaire autant de pouces de largeur & de hauteur à la quille que la ſeptieme partie de ſa longueur contient de pieds: c'eſt-à-dire, pour exprimer la choſe d'une maniere plus ſimple, qu'on fait l'épaiſſeur la quatre-vingt-quatrieme partie de la longueur. Si la quille a 140 pieds de long, on lui donnera 20 pouces de hauteur & autant de largeur.

La quille

Les eſcares.

La longueur portant ſur terre.

Aux deux extrémités de la quille s'élevent deux pieces de bois, celle de l'avant beaucoup plus inclinée que celle de l'arriere ; & ces deux pieces terminent le Vaisseau dans le sens de sa longueur. La premiere ou celle de l'avant, qui est *l'étrave*, est toujours courbée à-peu-près comme l'est un arc de cercle de 70 degrés. Elle a de hauteur verticale à-peu-près le quart de la longueur de la quille, ou un peu moins, selon plusieurs autres Constructeurs, qui ne lui donnent de hauteur que 28 $\frac{1}{6}$ pieds, lorsque la quille est de 124. Cette piece de bois est, comme je l'ai dit, penchée en avant ; elle a de saillie la moitié de sa hauteur, ce qui fait à-peu-près la huitieme partie de la longueur de la quille ; mais quelquefois on lui en donne beaucoup davantage. Cette saillie est nommée, en termes d'art, *L'élancement de l'étrave.*

L'étrave & sa hauteur.

L'élancement de l'étrave & sa quantité.

L'autre piece de bois, qu'on nomme l'*étambot*, est élevée à l'autre extremité de la quille, ou à l'extremité de l'arriere, & on lui donne ordinairement une quarantieme partie moins de hauteur verticale qu'à l'étrave. Cette piece de bois panche aussi & en dehors, mais seulement de la quatrieme partie dont penche l'étrave, & cette inclinaison se nomme *la queste*. Ainsi *la queste de l'étambot* est égale au quart de *l'élancement de l'étrave*. On voit assez la raison pour laquelle l'étrave est penchée en avant ; c'est pour contribuer à former la saillie ou la courbure de la proue, cette disposition est comme nécessaire : mais il paroît que rien n'obligeoit de faire aussi pencher l'étambot & de lui donner de la queste, si ce n'est l'envie qu'on a eu d'augmenter la longueur du vaisseau par en haut, & de rendre l'arriere plus étendu & plus capable de fournir des logemens commodes aux Officiers. D'un autre côté cette situation de l'étambot est cause que le poids de toute la poupe qui est audessus & qui est augmenté par les galeries, &c. fait un grand & continuel effort pour faire pencher encore plus l'étambot, ou pour ouvrir l'angle obtus qu'il fait avec la quille. Cet inconvenient, qui ne laisse pas d'avoir des suites fâcheuses, cesseroit tout d'un coup, si on vouloit se ré-

La queste de l'étambot & sa quantité.

foudre à perdre quelques pieds fur la longueur fuperflue du vaiffeau, en pofant l'étambot plus verticalement.

La longueur du Vaiffeau.

La longueur des Vaiffeaux fe prend toujours, dans la Marine, de puis le haut de l'étambot jufques au haut de l'étrave. Ainfi la longueur, proprement dite, eft plus grande que celle qui porte fur terre, des deux quantités dont l'étrave & l'étambot penchent en dehors. Tantot les Conftructeurs reglent toutes les parties du vaiffeau fur la feule longueur de la quille, tantôt ils les reglent immédiatement fur la longueur, proprement dite, ou prife du haut de l'étambot au haut de l'étrave, ou de *cap en cap*. Dans ce fecond cas, il faut retrancher de la longueur du navire environ une neuvieme partie du côté de l'avant, pour l'élancement de l'étrave; retrancher en même tems en arriere une trente-fixieme partie pour la quefte de l'étambot, & le refte, qui eft de 31 trente-fixieme, du tout, fera la longueur de la quille.

Les membres.

Ces pieces de bois courbées, que les Conftructeurs nomment *membres*, & qui étant comme les côtes du fquélette s'arrangent perpendiculairement au-deffus de la quille, font toujours formées de plufieurs parties dont chacune a fon nom. La *varangue* eft la partie d'enbas qui eft prefque plate dans le milieu du vaiffeau & qui s'aplique immédiatement fur la quille; fouvent, mais par extenfion, on donne le même nom à l'affemblage de toutes les pieces ou des membres qui forment la courbe entiere. *Les genoux de fond*, ou fimplement les genoux, font les deux pieces qui fe joignent aux deux extrémités de la varangue & qui forment un plus grand arrondiffement: au-deffus font d'autres pieces qu'on nomme *allonges*, & qu'on diftingue par premieres, par fecondes, & même par troifiemes, jufqu'à ce qu'on foit parvenu affez haut. Mais les *allonges* d'en haut qui, au lieu de préfenter au dehors leur convexité, préfentent au contraire leur concavité, prennent le nom *d'allonges de revers*. Toutes ces pieces fe joignent enfemble en mettant l'extrémité de l'une à côté de l'extrémité de l'autre, & cette jonction fe nomme *empâture*: ou

Les genoux de fond. *Les allonges.* *Allonges de revers.*

bien on les met au bout les unes des autres; mais pour qu'elles se soutiennent, on met à côté un autre assemblage de varangues, de genoux, d'allonges, en faisant ensorte que les jonctions des pieces d'un assemblage répondent vers le milieu des pieces de l'autre; & le tout étant fortement chevillé ensemble, fait une double côte qu'on nomme *couple* par cette raison, ou parce qu'on a souvent rendu les varangues de l'avant & celles de l'arriere égales entr'elles, jusqu'à une certaine distance. On nomme aussi ces couples *gabaris*, quoique ce dernier nom convienne plutôt au modele fait en planches, pour représenter la courbure qu'on doit donner aux membres.

Les couples.

Les gabaris.

On voit la plus grande partie de ce que nous venons de dire dans la figure premiere. La quille AB est formée de quatre pieces jointes l'une à l'autre par les *escares*, que nous n'avons pas oublié de représenter. A est l'extrémité de l'arriere, qu'on nomme *talon*, & B l'extrémité de l'avant, qu'on nomme *brion* ou *ringeot*. La piece de bois AC est l'étambot, & la distance AF interceptée par le *talon* & par la perpendiculaire CF, abaissée du haut de l'étambot sur le prolongement de la quille, est la queste que nous prétendons qu'il n'y auroit point d'inconvénient à diminuer, ni même à détruire. L'étambot est fort large par en bas; il a deux fois plus de largeur que la quille n'a ordinairement de hauteur. Il entre dans la quille par une mortaise, & il y est outre cela encore lié par une piece de bois courbe PQR, qui fait un angle obtus, & dont la branche qui s'applique sur la quille dans les plus grands vaisseaux a 8 ou 9 pieds de long & l'autre 12 ou 13. Cette piece de bois prend son nom de sa figure, on la nomme *courbe*: il en entre beaucoup d'autres de la même figure & du même nom, dans la construction du vaisseau. La piece de bois BD placée de l'avant est l'étrave, & BE est son élancement. La longueur du vaisseau est prise ordinairement (nous le repetons) depuis le haut D de l'étrave jusqu'au sommet C de l'étambot. L'étrave soutient toutes les pieces qui forment l'éperon, cette partie destinée à l'ornement du navire; & la *gorgere* ou *le taille-mer* W, y est

FIG. 1.

immédiatement attaché. La poulaine eſt auſſi toute cette partie de l'avant, mais en la confondant avec le corps même du Vaiſſeau auquel elle ſe joint. Il faut remarquer qu'on eſt aſſujetti à donner à l'étrave une certaine hauteur, parce que le mât de beaupré, ce mât incliné en avant & qui ſort du Vaiſſeau, s'appuye ſur ſon ſommet D. Enfin on voit dans la même figure quelques varangues ou quelques couples; mais le Lecteur doit ſavoir qu'on en met un ſi grand nombre dans la fabrique des vaiſſeaux, qu'elles ne laiſſent entr'elles que peu d'intervalle, & qu'il y a preſque toujours plus de plein que de vuide.

Fig. 2.

La ſeconde figure, qui repréſente une couple entiere, montre d'une maniere plus préciſe les parties dont elle eſt compoſée. EF eſt la varangue; EL & FK ſous les deux genoux; les autres pieces ajoutées au-deſſus de celles-ci ſont les allonges, & la derniere eſt l'allonge de revers. Cet aſſemblage de pieces ſe joint & s'attache à un autre comme j'en ai déja averti, ce qui lui a fait donner le nom de couple, ou ce qui y a contribué.

Le plat de la varangue.

Vers le milieu du vaiſſeau les varangues ſont preſque plates, & c'eſt pour cela que EF s'appelle *le plat* de la varangue, ou du vaiſſeau, quoiqu'il ne le ſoit pas exactement. Les deux quantités IF & HE, dont les deux extrémités de la varangue s'élevent, s'appellent *l'acculement*. Les Conſtructeurs diſputent beaucoup entr'eux ſur la grandeur *du plat*, mais on voit clairement que cette diſpute eſt abſolument inutile, tant que l'acculement n'eſt pas déterminé. A meſure qu'on conſidere le Vaiſſeau plus vers l'avant & plus vers l'arriere, le plat des varangues diminue, & l'acculement augmente. Les *varangues acculées* & les *fourcats* ſont celles dont les deux branches commencent à faire un angle aigu ou même droit, & les genoux qui préſentent alors leur concavité en dehors prennent le nom de *genoux de revers* Les membres OS & OT (Fig. 1.) qui forment la poupe, ſe nomment en particulier *eſtains*, & *cornieres* les allonges comme TY. On applique auſſi ſur l'étrave des membres en forme de côtes, ce ſont les *allonges d'écubiers* à cauſe des *écubiers* qui ſont au-deſſus, qui ſont des

L'acculement des varangues.

Les varangues acculées & les fourcats.

Les genoux de revers.

Les eſtains & cornieres.

des trous faits au haut de la proue par lesquels passent les cables qui servent à retenir le navire. Je reviens à la figure de la carène qui n'imite la forme des poissons que par le retrecissement de ses varangues vers l'avant & vers l'arriere, & que par l'augmentation de son acculement. C'est ce qui fait que le navire, pour parler comme les marins, est *taillé* ou *façonné*, qu'il est *frégaté*, ou que *ses fonds sont fins*. Ainsi le vaisseau qui a beaucoup de *façons*, c'est celui dont la carène diminue très-subitement de grosseur par dessous, vers la poupe & vers la proue, ou dont les varangues ont beaucoup d'acculement. Le plat des varangues se réduisant à rien au point K de l'étrave (Fig. 1.) la hauteur &K y représente l'acculement qu'on nomme en particulier *hauteur des façons* de l'avant; par la même raison AO est *la hauteur des façons de l'arriere*.

Le navire qui est taillé. Qui est frégaté. Qui a beaucoup de façons, dont les fonds sont fins. Hauteur des façons de l'avant & de l'arriere.

On voit aussi dans la figure 2, & nous les avons représentés encore dans la figure premiere, *les baux*, ces poutres qui soutiennent les ponts ou planchers du vaisseau. Les baux sont joints aux membres par le moyen des courbes que nous avons marquées dans l'une & l'autre figure, & ils sont étendus dans le sens de la largeur du navire. Ils ont tous une courbure considérable; cette courbure est telle dans le bau le plus long AB (Fig. 2.) que le point D qui est au milieu de sa surface inférieure, se trouve ordinairement en ligne droite avec les deux extrémités A & B de sa surface supérieure. Cette courbure, qu'on nomme *bouge*, sert non-seulement à empêcher le trop grand recul des canons, lorsqu'on les tire; mais aussi à faciliter l'écoulement des eaux, qui sans cela pourroient séjourner sur les ponts.

Les baux.

Le plus grand des baux se nomme le *maître bau*; il indique *le fort du navire*, c'est-à-dire, l'endroit le plus large. L'assemblage des membres, la varangue, les genoux, &c. qui se pose dans le même endroit, se nomme *la maîtresse couple, la maîtresse varangue, le maître ou le premier gabari*. Tous ces noms étant établis par un long usage, nous ne pouvons pas nous empêcher de les admettre. Les derniers baux de l'arriere changent de nom; on les nomme *barres*

Le maître bau. Le fort du navire. La maîtresse couple, la maîtresse varangue, le maître gabari.

Les barres d'arcasse.

d'arcasse, parce que l'arriere du vaisseau, cette partie qui se termine presque verticalement, se nomme *l'arcasse*. Enfin la poutre ST (Fig. 1.) qui est bien une des barres d'arcasse, mais qui est située dans l'endroit le plus large de la poupe, ou dans son *fort*, & presque toujours au haut de l'étambot, se nomme en particulier *la barre, ou la lisse d'hourdy*.

La lisse d'hourdy.

CHAPITRE III.

Suite du Chapitre précédent, dans laquelle on continue à expliquer les noms & les proportions des principales parties du vaisseau.

NOUS continuons notre description en commençant par avertir le Lecteur, de tâcher de dissiper par son attention, ou par une lecture réiterée, l'obscurité qui est inséparable de pareils détails, vu la multitude des objets & la difficulté qu'il y a d'y apporter tout l'ordre qu'on souhaiteroit. C'est *la maîtresse couple*, ou *la maîtresse varangue*, qui sépare, l'une de l'autre, les deux parties du vaisseau, de l'avant & de l'arriere. Au lieu de la mettre au milieu de la longueur du navire, on la place toujours un peu plus vers la proue, ce qui rend cette partie plus courte & plus grosse. Plusieurs Constructeurs la mettent aux $\frac{5}{12}$ de la quille, à commencer de l'avant; c'est-à-dire, que toute la quille, BA (Fig. 1.) étant divisée en 12 parties égales, il y en a cinq depuis son extrémité B jusqu'au point G, où l'on place le premier gabari; de-sorte qu'il se trouve à-peu près à une trente-sixieme partie de toute la longueur DC du navire plus en avant que le milieu. On le portoit le tems passé plus vers la proue, en ne le plaçant qu'au tiers de la quille; mais on a eu quelque raison, comme on le verra dans la suite, de le reculer davantage vers l'arriere, quoique nous croyons qu'on l'a trop reculé.

De l'endroit où l'on met la maîtresse varangue.

De la plus grande largeur du vaisseau, ou de la longueur du maître bau.

Le maître bau, représenté par AB dans la figure 2, & par VX dans la premiere, a souvent de longueur le quart de la quille; cependant dans les vaisseaux du Roi, qui ont besoin d'être larges à cause du mouvement qu'il faut que se donne l'équipage dans les combats; on augmente souvent cette longueur du bau, jusqu'à la rendre, ou peu s'en faut, le tiers de celle de la quille. Si l'on considere les dimensions sans relation les unes aux autres, c'est la largeur à laquelle il est le moins permis de toucher dans les vaisseaux de guerre, au moins pour la diminuer. Lorsqu'on est en pleine mer, on retire la chaloupe à bord & on la place au milieu du pont; & il faut qu'il y ait encore assez d'espace des deux côtés pour permettre le recul des canons & faciliter leur service. On est attentif à donner aussi plus de largeur à ces derniers navires à mesure qu'on les rend plus hauts, ou qu'on multiplie leurs ponts; & c'est ce qui est très-naturel, ou plutôt c'est ce qui est absolument nécessaire, comme on le verra dans le Livre suivant.

On construisoit il y a un siecle des vaisseaux encore plus larges: le P. Fournier nous assure qu'on a souvent mis de son tems, entre le bau & la quille, le rapport de 5 à 14, & que ces vaisseaux se sont trouvés excellens. Mais ce qui fait toucher au doigt, en attendant que nous le prouvions par des raisons démonstratives, qu'on ne peut pas beaucoup compter sur toutes ces prétendues expériences, qui servent néanmoins d'unique fondement aux regles ordinaires, c'est qu'on a fait en même tems des navires ausquels on n'a donné de largeur qu'environ la cinquieme partie de la longueur de leur quille, & qui n'ont pas moins bien réussi. Les Constructeurs, qui évitent le plus qu'ils peuvent les opérations d'Arithmétique, se font pour cela des regles particulieres dont on se contentera de donner ici un exemple, en rapportant celle dont ils se servent quelquefois pour trouver la largeur de leur navire, non pas par rapport à sa quille, mais par rapport à la longueur totale; on pourra s'en servir dans les plus grands vaisseaux de guerre. Ils donnent au bau autant de fois trois

pouces & trois lignes de plus, que cette longueur totale contient de pieds. La longueur du vaisseau est-elle de 170 pieds depuis le haut de l'étrave jusqu'au haut de l'étambot ? ce sont cinq cens dix pouces & cinq cens dix lignes, ou 46 pieds $\frac{1}{2}$ pouce qu'il faut donner au bau ; ou ce qui revient au même, on lui donne treize quarante-huitiemes de la longueur du navire : c'est-à-dire, le quart de la longueur & de plus la douzieme partie de ce quart.

Le bau étant reglé, on c'en sert pour déterminer beaucoup d'autres dimensions qui se reglent aussi sur la longueur de la quille, & c'est ce qui met dans les proportions qu'employent les Constructeurs, une confusion qui les embarrasse quelquefois eux-mêmes. Il seroit bon, en attendant qu'on sût les véritables regles, qu'on ne fit dépendre une dimension d'une autre, qu'autant qu'on voit qu'il doit y avoir entr'elles une relation immédiate. Il est naturel, par exemple, de regler sur le bau, le plat de la maîtresse varangue ; on le fait ordinairement en France de la moitié du bau : mais puisqu'on s'est résolu de nommer plat ce qui le plus souvent ne l'est pas, il paroît que pour éviter toute équivoque, on devroit s'accorder à donner toujours ce nom dans la premiere varangue à une partie égale à la moitié ou à quelqu'autre portion constante du maître bau ; ce qui n'empêcheroit pas qu'on ne lui donnât différentes figures en élevant plus ou moins ses deux extrémités, ou en rendant son *acculement* plus ou moins grand. On le fait, cet acculement, pour l'ordinaire de la vingt-quatrieme partie du plat dans les vaisseaux du premier rang ; de la dix-huitieme dans ceux des trois rangs suivans ; & de la douzieme dans ceux du cinquieme, c'est-à-dire, que EF, ou HI (Fig. 2.) est la moitié de AB, & que FI ou EH est la vingt-quatrieme partie, ou la dix-huitieme, ou la douzieme de EF : de sorte que les plus grands vaisseaux sont réellement un peu plus plats par dessous.

De la quantité du plat de la maîtresse varangue.

De la quantité de l'acculement.

Il faut remarquer que ces rapports ne sont pas toujours énoncés d'une maniere si simple dans les maximes des Constructeurs ; car au lieu de dire, par exemple, que l'ac-

culement eſt une certaine partie du plat de la varangue, ils diſent ſouvent que c'eſt une telle partie de la quantité dont le navire enfonce plus dans l'eau par l'arriere que par l'avant : comme s'ils voyoient la moindre relation entre cet excès & l'acculement qu'on donne aux varangues dans l'endroit le plus gros du vaiſſeau.

Quoiqu'il en ſoit, nous ſommes très-perſuadés qu'il eſt ſouvent néceſſaire de faire varier l'acculement. Les navires qui ſont deſtinés à naviger dans les mers peu profondes, doivent être, ainſi que nous l'avons déja dit, beaucoup plus plats par deſſous. De-là naît cette différence qu'on voit entre la carène de nos vaiſſeaux, & celle des navires qu'on conſtruit en Hollande, en Suede & en Danemarck. Le plat étant le même ; ces Nations rendront ſouvent l'acculement nul, au riſque de préjudicier à la promptitude du ſillage, comme on l'expérimente preſque toujours : au lieu que c'eſt tout le contraire chez les Nations dont les ports ſont aſſez profonds pour n'aſſecher jamais ; on y donne beaucoup plus de *façons* aux vaiſſeaux, on rend leur carène ſi fine qu'ils ne peuvent pas ſe ſoutenir à ſec ſans verſer. Cet accident eſt ordinaire aux navires Anglois, & il arriveroit peut-être auſſi aux navires qui ſont deſtinés à ne naviguer que dans la mer méditerranée. L'uſage ſeul avoit déja établi cette différence dès le tems des Romains, comme nous l'apprend Céſar dans ſes Commentaires, en parlant de la révolte des habitans de Vannes *.

* Liv 3. guerre des Gaules.

Rentrée des vaiſſeaux & ſa quantité.

On retrecit toujours les navires par en haut ; c'eſt ce qu'on nomme leur *rentrée.* Elle eſt ordinairement de chaque côté d'une dixieme partie du bau. Deſorte que ſi le vaiſſeau a 40 pieds de plus grande largeur AB (Fig 2.) il n'y aura que 32 pieds depuis S juſqu'en T ; parce que la *rentrée* ſera de 4 pieds de chaque côté. On allegue pluſieurs raiſons de cet uſage. On ſe propoſe de ramaſſer plus vers le milieu toute la péſanteur du navire ; on a voulu peut-être auſſi rendre l'abordage plus difficile, & ſe trouver encore à quelque diſtance de l'ennemi, lorſque les

deux vaisseaux se touchoient. Enfin il paroît que les vagues qui viennent choquer le flanc du navire, glissent avec plus de facilité en montant, & font moins d'impression, lorsqu'elles rencontrent une surface inclinée en dedans. Tous ces motifs pris ensemble peuvent être de quelque considération: cependant il seroit à-propos que le navire ne commençât toujours à se rétrecir qu'au-dessus de l'endroit jusqu'auquel il s'incline dans les routes obliques, lorsque le vent le charge avec plus de force. Il faut d'ailleurs qu'on retrecisse trop par en haut les petits navires, ou qu'on ne retrecisse pas assez les grands, puisqu'en donnant aux uns & aux autres la même rentrée, à proportion de leur largeur, mais sur différentes hauteurs, c'est réellement la même chose que si on retrecissoit moins les grands, & leurs flancs sont beaucoup moins inclinés que ceux des petits.

De la longueur de la lisse d'hourdy & de celle du couronnement.

La lisse d'hourdy ST (Fig. 1.) se fait ordinairement des $\frac{2}{3}$ du bau; & on donne pour largeur au couronnement ou à la partie qui termine la poupe par en haut, la moitié du bau.

Le creux & sa quantité.

La profondeur des vaisseaux, ou *le creux*, pour parler comme les Marins, se mesure depuis le dessous Δ du bau (Fig. 1.) ou D (Fig. 2.) jusqu'au dessus de la quille, & se fait le plus souvent des neuf vingtiemes du bau, ou d'une dixieme partie moindre que sa moitié, & quelquefois d'une douzieme. D'autres Constructeurs font cette profondeur exactement égale à la moitié du bau, ou de la largeur; & cela, afin de rendre plus élevée au-dessus de la surface de l'eau, la premiere batterie, & de l'empêcher *d'être noyée.* Cette derniere regle ne doit pas encore être suivie par-tout; les Hollandois principalement se trouveroient mal de son observation. La plûpart de leurs Constructeurs, par une suite de cet abus que nous venons de condamner, au lieu de faire dépendre *le creux* immédiatement de la largeur, le font dépendre de la longueur du navire, en l'en rendant la dixieme partie. *Le creux* se trouve de cette sorte d'environ les deux cinquiemes du bau, & en général on

le diminue, lorsqu'on rend le fond de la carène plus plat. Quelquefois il n'est que les $\frac{1}{5}$ du bau, ou que les $\frac{3}{4}$ de sa moitié.

La hauteur du premier pont, vers le milieu du navire, se trouve fixée par *le creux* que nous venons de déterminer: mais le pont s'éleve ensuite vers l'avant & vers l'arriere. Vers l'avant il ne s'éleve que de quelques pouces dans les vaisseaux même du premier rang, au lieu que vers l'arriere, sa hauteur, au-dessus de la quille, est souvent plus grande d'une sixieme partie.

Plusieurs autres choses sont reglées immédiatement sur la largeur du navire, qui ne le devroient pas être. Il est clair, par exemple, que le creux Δ G (Fig. 1.) étant quelquefois plus ou moins grand, quoique les autres dimensions soient les mêmes, les hauteurs K&, & OA *des façons* de l'avant & de l'arriere, devroient être differentes. Cependant on donne presque toujours pour regle, de faire la premiere de ces hauteurs les $\frac{3}{10}$ de la longueur du bau, & la seconde, la moitié ou le tiers de celle-ci. D'autres Constructeurs veulent qu'on fasse la hauteur AO des façons de l'arriere égale à la moitié de celle de l'étambot AG; & ils ne pensent pas que cette piece de bois peut avoir plus ou moins de hauteur, sans que cela préjudicie le moins du monde aux qualités du navire. Personne enfin ne s'est encore avisé de dire que la hauteur des façons de l'arriere devoit être environ les $\frac{2}{3}$ du creux, & celle des façons de l'avant d'environ un tiers. Il faut se souvenir que, dans le langage des Constructeurs, toutes les hauteurs dont ils parlent se mesurent toujours de dessus la surface supérieure de la quille.

De la hauteur des façons.

Du tirant d'eau.

Le *tirant d'eau*, ou la quantité dont le navire doit enfoncer dans la mer, devroit encore être reglé sur le creux. On prétend presque toujours que de l'arriere, le *tirant d'eau* doit être les $\frac{9}{20}$ de la longueur du bau, & de l'avant seulement des $\frac{3}{8}$: desorte qu'on veut que le navire enfonce plus dans la mer de l'arriere que de l'avant de $\frac{3}{40}$ de la longueur de son bau; ce qui revient à-peu-près à une sixieme partie du *creux*.

Pour prendre une notion plus distincte du *tirant d'eau*, il n'y a qu'à le considerer dans l'endroit le plus gros du navire; il est à-propos que *le fort*, ou l'endroit le plus large, ne soit pas dans l'eau, mais qu'il soit élevé d'une quantité considérable au-dessus. On se fait sur cela differentes regles, que l'avarice des Négocians, ou même des Marins, ne respecte pas toujours assez, en rendant le péril presque évident par la grandeur de la charge. Quelques-uns prétendent que *le fort* doit être élevé au-dessus de la *flotaison*, ou au-dessus de l'eau, d'un pied ou d'un pied & demi; mais cette regle ne doit pas convenir à tous les navires, aux grands & aux petits; il vaut donc mieux faire ensorte que cet endroit soit toujours élevé au-dessus de la mer, ou de la flotaison, d'une partie proportionnelle, comme de la huitieme ou de la neuvieme partie du *creux* ΔG (Fig. 1.) Ainsi le *tirant d'eau*, ou la quantité dont le navire plonge dans la mer par son endroit le plus gros, sera seulement des $\frac{7}{8}$ ou des $\frac{8}{9}$ *du creux*, augmentés de plus, de l'épaisseur de la quille, qui est encore au-dessous.

De la hauteur des entre-ponts.

Certaines autres dimensions, qui n'ont pas un rapport absolu avec la grandeur des navires, doivent être à-peu-près les mêmes dans tous. La hauteur des étages, ou des *entre-ponts*, doit, par exemple, se regler sur la hauteur ordinaire des hommes. On fait ces étages de 5 pieds 7 pouces, au-dessous même des baux, dans les plus grands vaisseaux, & de 5 pieds 5 pouces dans les Frégates. C'est ce qui est nécessaire dans les navires faits pour la guerre, qui tirent leur plus grande force de leurs batteries basses: au lieu que dans les navires marchands, l'entre-pont ne servant qu'à loger la partie de l'équipage qui se repose, n'a pas quelquefois trois pieds de hauteur.

La grandeur des navires ne doit faire encore que peu changer les intervalles entre les canons ou les sabords: on observe au moins de ne les guere diminuer dans les vaisseaux du Roi, quoique ce ne soit pas la même chose dans les navires marchands. A l'égard de la largeur des sabords, on la regle sur la grosseur des canons. Pour les plus gros

gros, on fait cette largeur d'environ trois pieds, & pour les plus petits, d'environ deux pieds.

Je ne crois pas enfin devoir entrer dans l'explication de plusieurs autres parties qu'on peut abandonner entierement à la conduite de l'ouvrier. Comme je n'entreprends de parler de la construction des vaisseaux que comme Mathématicien, ou Physicien, je n'insiste pas sur diverses choses dont les dimensions ne sont point sujettes aux loix rigoureuses de la Méchanique ; mais je ne puis pas me dispenser de dire qu'on nomme *bordages* les planches dont on couvre toute la carene, ausquelles on donne quatre pouces, ou $4\frac{1}{2}$ pouces d'épaisseur dans les plus grands vaisseaux ; de même qu'à celles qui forment le premier pont, ou le pont le plus bas. On se sert du nom de *franc-bord* pour marquer plus particulierement l'assemblage de tous ces bordages qui couvrent l'extérieur du navire : car quelquefois on applique dessus, depuis la quille jusques vers la flotaison, d'autres bordages beaucoup moins épais, seulement pour garantir les premiers de la piquûre des vers qui se trouvent dans différentes mers, & ce second revêtissement se nomme *doublage*. On a une attention en *bordant* ou en *doublant*, ou lorsqu'on applique les bordages, qui est trop particuliere pour qu'elle doive être oubliée. On sait combien il est difficile à tous les ouvriers en bois, si on excepte les seuls Tonneliers, de faire des vases de plusieurs pieces, qui ne donnent aucune issue à l'eau : les Menuisiers les plus adroits, pour l'ordinaire, n'y sauroient réussir. Mais nos Charpentiers de navires, aidés par les *calfats*, n'y trouvent aucune difficulté. Au lieu de mettre les bordages si près les uns des autres qu'ils se touchent, ils laissent toujours entr'eux un intervalle considérable & assez grand pour recevoir l'étoupe qu'on y introduit en quantité & avec force, avec une espece de ciseau fait exprès ; & on ne fait plus ensuite que couvrir le tout d'un enduit chaud composé de suif & de goudron.

Bordages.

Pour ne pas obmettre l'explication de quelques autres parties encore assez essentielles, nous ajouterons qu'on

fortifie la quille par une autre piece de bois qu'on nomme la *contre-quille*, & qu'on presse les varangues dessus par plusieurs longues pieces, qui couchées dans le même sens que la quille, forment la *carlingue*, au-dessus de laquelle on met encore en travers les *porques* qui sont d'autres especes de varangues, qui ont aussi leurs genoux & leurs alonges. On rend l'assemblage du tout encore plus fort, en mettant d'autres bordages au vaisseau par le dedans, qui prennent le nom de *vegres* ou de *serres*. Les baux sont attachés aux membres par le moyen des *courbes*, dont j'ai déja parlé; mais outre cela leurs extrémités se trouvent resserrées entre des especes de bordages beaucoup plus épais, les *goutieres* & *serre-bauquieres*, dans lesquelles ils s'endentent. Les baux sont encore liés les uns aux autres par les *illoires* qui s'étendent le long des ponts depuis l'avant jusqu'à l'arriere, & qui passent par le bord des *écoutilles*, ou de ces grandes ouvertures quarrées qu'on fait dans les ponts pour pouvoir descendre dans le fond du navire, ou dans *la cale*. C'est principalement l'avant & l'arriere qui ont besoin d'être fortifiés. Outre le grand nombre d'alonges d'écubier qui en se touchant soutiennent la proue contre le choc de l'eau, on place derriere des pieces horisontales qu'on nomme *guirlandes*, & on met derriere l'étrave une autre piece de bois qu'on nomme la *contre-étrave*. L'étambot a aussi son *contre-étambot*, mais qui est en dehors, & toute l'arcasse est soutenue, non-seulement par les barres ou lisses dont j'ai déja parlé, mais aussi par d'autres pieces, *les montans d'écusson* qu'on place à-peu-près verticalement. Au-dessous des baux qui soutiennent les ponts & qu'on met ordinairement à trois pieds de distance les uns des autres, on en met encore souvent d'autres dans la cale, qui n'ont d'autre usage que de lier davantage le navire, & ce sont les *faux baux*. Dans les vaisseaux de guerre, aux environs de la *flotaison*, en dessus & en dessous de la surface de l'eau, on insere aussi entre les membres d'autres alonges qu'on nomme *estacades*, de maniere qu'il ne reste aucun vuide. Il est vrai qu'on ne se propose par ces

La contre-quille.
La carlingue.
Les vegres ou serres
Les goutieres & serre-bauquieres.
Les illoires.
Les écoutilles.
Guirlandes.
Contre-étrave.
Contre-étambot.
Montans d'écussons.
Les faux baux.
Les estacades.

dernieres pieces, que de rendre la carene assez forte pour qu'elle soit à l'épreuve du canon. Mais enfin on prend à tâche de faire entrer tant de bois & une si prodigieuse quantité de fer dans la construction des vaisseaux, qu'on ne peut pas s'empêcher de reconnoître que toutes nos entreprises sont bien foibles, puisqu'aussitôt que par les suites d'une mauvaise navigation, on va rencontrer quelque écueil, ou qu'on se trouve seulement engagé entre des rochers, il ne faut qu'un seul instant, deux ou trois minutes, pour briser en mille pieces cet ouvrage fait avec tant de soin, & rendu, ce semble, si solide.

CHAPITRE IV.

Des différentes pratiques que suivent les Constructeurs pour tracer la coupe des vaisseaux, faite perpendiculairement à leur longueur dans l'endroit le plus gros.

De tout tems les Constructeurs se sont fait quelque regle pour tracer la coupe du vaisseau, faite perpendiculairement à sa longueur dans l'endroit le plus gros, c'est-à-dire, pour tracer la maîtresse couple, la maîtresse varangue, ou le premier gabari. Le nom de coupe dans la construction est appliqué particulierement à celles qui se font perpendiculairement à la longueur du navire, & la premiere c'est la plus grande de toutes, c'est celle qui indique la figure du maître gabari ou de la maîtresse couple. On l'a presque toujours formé de portions de cercles, mais avec plus ou moins d'adresse : car ne faisant pas toujours attention que pour que deux arcs de cercle se touchent sans se couper, il faut que leurs centres soient sur la ligne droite qui passe par leur point d'attouchement, on a souvent donné, sans aucune nécessité, des angles sensibles au contour de la premiere couple, ou du premier

gabari ; au lieu de l'arrondir insensiblement par-tout. C'est ce qui rend préférable l'opération qu'a enseigné le P. Fournier il y a plus d'un siecle, à plusieurs autres pratiques qu'on a proposées depuis.

PREMIERE METHODE.

Fig. 3. Le P. Fournier, après avoir tiré la droite AB (Fig. 3.) qui représente la longueur du *maître bau*, décrit un cercle RANB qui a cette ligne pour diametre, & éleve au milieu de cette même ligne une perpendiculaire CD, égale *au creux*, ou à la profondeur qu'on veut donner au vaisseau, laquelle, comme nous l'avons déja dit, se prend toujours de dessous le bau à la surface supérieure de la quille, qui est le terme de toutes les hauteurs, en fait d'Architecture navale. Par le point D, il tire une ligne GH parallele à AB, & faisant DG & DH égales chacune au demi-plat de la varangue, ou égales, si on le veut, au quart de la largeur du tout, il fait les petites perpendiculaires ou verticales GE & HF chacune égale à l'acculement. Ces petites perpendiculaires seront égales à la vingt-quatrieme, ou à la dix-huitieme, ou à la douzieme partie de GH, &c. Après cela il cherche sur GE, prolongée en haut & en bas, jusqu'en K & jusqu'en S, le point M qu'il faut prendre pour centre d'un arc de cercle NE qui touche en quelque point N le premier cercle, & en E la ligne droite EF. Enfin d'un point S, pris pour centre, il décrit l'arc EO, qui touchant la ligne droite EF, ou l'arc NE, en E, vient se rendre exactement en O au bord de la quille. Il a de cette sorte ANEO pour le demi-contour de la coupe, & il fait la même chose pour l'autre côté.

Il est vrai que ce bon Pere ne cherche les centres M & S que par le tâtonnement ; mais rien n'empêche de les déterminer d'une maniere sûre & infaillible. Si on fait EK égale au rayon CA du premier cercle, ou égale au demi-bau, & qu'après avoir joint les points K & C par la droite CK on lui éleve dans son milieu L la perpendiculaire LM, cette perpendiculaire indiquera sur EK par son intersec-

tion, le centre M de l'arc NE. Car MC étant égale à MK, & EK ayant été faite égale à AC ou à NC, il eſt évident que MN ſera égale à ME, & par conſéquent l'arc de cercle décrit du point M, comme centre, & qui paſſera par le point E, viendra toucher le premier cercle en N. A l'égard de l'autre centre S, il ſera tout auſſi facile de le déterminer. Il n'y a qu'à tirer la droite EO, & lui élever en ſon milieu une perpendiculaire; cette perpendiculaire rencontrera IG prolongée en bas dans le point S, qui doit ſervir de centre à l'arc EO. Je laiſſe à part la méthode dont le même Auteur veut qu'on forme les alonges AQR, quoiqu'il paroiſſe qu'il n'y auroit ſouvent aucun inconvénient à s'en ſervir. Il décrit AQ, en prenant le point I pour centre, & il donne à QR un rayon de même longueur.

SECONDE METHODE.

De notre tems pluſieurs Conſtructeurs tracent encore, comme le P. Fournier, un cercle ANFB (Fig. 4.) qui a la longueur entiere AB du bau pour diametre. Mais après avoir formé un rectangle ABIL, qui a pour largeur la longueur du bau, & pour hauteur le creux, ou la profondeur CD qu'il s'agit de donner au vaiſſeau, ils cherchent ſur la diagonale LC le centre M de l'arc de cercle NY, qui touchant le premier cercle en N, paſſe par l'extrémité E du plat de la varangue dont DG n'eſt que la moitié & GE l'acculement. Pour trouver le centre M, ils n'ont qu'à tirer une droite NE & lui élever en ſon milieu une perpendiculaire qui viendra indiquer, par ſon interſection avec la diagonale, le centre requis M. Ils prolongent l'arc NE juſqu'au point Y qui eſt dans la même verticale MY que le centre M; & tirant en Y une horiſontale YP, ou une parallele à AC ou à LD, cette ligne eſt tangente à l'arc NY, & il ne faut plus que décrire un autre arc PO, qui ayant ſon rayon égal à MN ou à MY, touche la droite YP, & vienne ſe rendre au bord O de la quille, dont OD eſt la demi-largeur. Pour trouver géométriquement le centre X,

Fig. 4.

Fig. 5. de façon que MV soit deux fois plus grande, ou que YV soit égale à MY : on tirera par le point V la ligne horisontale VX, & si du point O, comme centre, & de l'intervalle OX égal à YV, pour rayon, on décrit un petit arc de cercle X, il coupera la ligne VX dans le point X qui doit servir de centre à l'arc requis. Ainsi la courbure ANYPO de la premiere coupe du vaisseau, se trouve formée, selon cette méthode, de deux arcs de cercle AN & NY, d'une petite portion de droite YP & d'un dernier arc PO ; l'autre côté se fera de la même maniere, comme il est évident.

Il ne restera plus qu'à tracer la partie AR, qui est l'alonge de revers. On la forme ordinairement de deux arcs égaux AQ & QR qui se touchent en Q & qui y font comme un point d'inflexion, parce que les deux arcs tournent leur convexité de différens côtés. Il n'y a pour cela qu'à tirer la droite AR ; & si au milieu des deux portions AQ & QR, on leur éleve des perpendiculaires, elles viendront rencontrer AB & l'horisontale RZ dans les points T & Z qui seront les centres des arcs AQ & RQ. Il arrive souvent dans les plus grands vaisseaux que l'alonge AR est quadruple de sa rentrée SR ; & dans ce cas particulier les rayons QT & QZ sont égaux à la longueur même AR de l'alonge.

Il faut remarquer que presque toutes ces pratiques ont besoin de quelque modification, selon les diverses applications qu'on en veut faire. On voit, par exemple, qu'il faut dans la seconde que le creux du navire soit considérablement moindre que la moitié de la plus grande largeur, ou qu'il faut que l'acculement GE soit assez grand pour que le point E se trouve au dedans du premier cercle ANKB. Car sans cela il faudroit rendre l'arc NE, qui représente le genoux de fond, concave en dehors dans la maîtresse couple même ; ce qui seroit certainement contraire à l'intention des Constructeurs.

TROISIEME METHODE.

Pour les navires à plates varangues.

Les deux méthodes précédentes, & celles qu'on peut imaginer aiſément ſur le même modele, peuvent être employées dans les vaiſſeaux qui tiennent le milieu entre les frégates & les bâtimens de tranſport. Tels ſont les vaiſſeaux de ligne, qui à cauſe du poids de leur nombreuſe artillerie tiennent un peu des bâtimens de charge, & qu'on tâche néanmoins de faire reſſembler le plus qu'on peut aux frégates par la carene, afin de leur en concilier la légereté & la promptitude de la marche. On a auſſi d'autres pratiques pour les autres eſpeces de navires. Dans les bâtimens de tranſport, on rend la carene plus groſſe, & on diminue pour l'ordinaire leur creux, comme je crois l'avoir déja dit, en ne le faiſant que les quatre neuviemes de la longueur du bau, ou de la plus grande largeur de la coupe; & pendant que le plat de la varangue eſt toujours la moitié de cette même largeur, l'acculement n'eſt qu'une vingt-quatrieme partie de la moitié du plat, ou une quatre-vingt-ſeizieme de la longueur du bau.

Nous emprunterons la méthode que nous allons expliquer, qui ſert pour ces ſortes de navires, d'un homme de Breſt, dont on ne peut gueres citer le nom * ſans éloge, & qui eût pu mieux qu'un autre perfectionner l'Architecture Navale, ſi ſa ſanté le lui eût permis. On en peut juger aiſément par un recueil manuſcrit qu'il a fait de la plûpart des pratiques des Conſtructeurs, lequel ſe trouve entre les mains de pluſieurs perſonnes dans la Marine. Il eſt vrai qu'il nous tranſmet ces pratiques préciſément comme il les a reçues, ſans même les corriger de ces ſortes d'irregularités ou fautes ſenſibles que nous avons déja fait remarquer plus d'une fois. Mais il examine avec ſuccès les propriétés géométriques des lignes courbes qu'on s'eſt aviſé de faire entrer juſqu'à préſent dans la figure des vaiſſeaux; il détermine leurs tangentes, leurs points d'infle-

* M. de Pulmi.

xion, & autant que je m'en souviens, il en rectifie quelques-unes. Malheureusement il ne va pas plus loin; & soit qu'il n'en ait pas senti la nécessité, ou qu'il n'en ait pas eu le tems, ce qu'il y a plus lieu de croire, il s'est arrêté à cet examen abstrait des propriétés géométriques des diverses courbes, sans se tourner du côté de leurs propriétés physiques, ou méchaniques, quoiqu'elles soient, comme il est évident, les seules qui fassent réellement au sujet.

5. & 6. Il forme un rectangle ABIL (Fig. 5.) qui a toujours pour largeur la longueur du bau & pour hauteur le creux du navire. Il détermine en E & en F les extrémités du plat de la varangue dont GE & HF sont l'acculement; il forme ensuite un quarré (Fig. 6.) qui a ses côtés égaux à LG ou à KE, & il inscrit au-dedans deux quarts de cercle AQE & AXE. Il divise après cela l'arc AXE de l'un, en un certain nombre de parties égales AV, VX, XY, YZ, &c. & abaissant des points de division des perpendiculaires VO, XN, &c. sur le rayon AK, il divise dans le même nombre de parties égales entr'elles le creux AK du vaisseau (Fig. 5.) diminué de l'acculement de la maîtresse varangue; & transportant vis-à-vis des derniers points de division O, N, &c. les parties OS, NR, MQ, &c. interceptées dans la figure 6 entre le rayon AK & l'arc de cercle AQE, il ne lui reste plus qu'à faire passer la courbe AR par les extrémités de toutes les perpendiculaires ou ordonnées OS, NR, &c. & il a le demi-contour de la premiere coupe. Il est vrai qu'il faut encore achever ED; mais on peut le faire avec un simple arc de cercle qui touchant la premiere courbe en E, viendra se joindre au bord de la quille vers D; & il n'y aura qu'à faire précisément la même chose pour avoir l'autre côté.

QUATRIEME METHODE.

Pour les navires ausquels on veut donner beaucoup de façons.

Quoiqu'on puisse par les seuls moyens que nous venons d'exposer, en y changeant seulement quelque chose, former

Fig. 7.

mer le premier gabari des vaisseaux ausquels on veut donner beaucoup de façons, ou dont on veut rendre la carene très-fine; nous indiquerons une méthode particuliere pour cela. Ayant formé, comme à l'ordinaire, le rectangle ABIL (Fig. 7.) destiné à renfermer toute la partie de la coupe qui est au-dessous du maître bau AB, il n'y a qu'à faire l'acculement GE ou HF de la maîtresse varangue égal à la cinquieme ou à la sixieme partie de son plat GH, ou égal à la dixieme ou douzieme partie de la longueur entiere AB du bau. C'est-là le plus grand acculement que les Constructeurs soient sujets à donner aux vaisseaux; au lieu que, comme nous en avons déja averti, ils le diminuent quelquefois jusqu'à le détruire entierement. Les points E & F étant déterminés, il ne reste plus qu'à tracer deux portions de paraboles AE & BF, dont les sommets soient en A & en B, & qui ayent AC & BC pour axe; à l'égard du plat même de la varangue, on le formera par deux arcs de cercles, dont l'un tournera sa convexité en bas & l'autre en haut.

La parabole est une courbe employée souvent dans l'Architecture Navale; on l'y trace pour l'ordinaire par le moyen d'une ligne droite, divisée, selon une suite de termes, en progression arithmetique. D'autres Constructeurs se contentent de déterminer deux ou trois points par des nombres qu'ils sçavent par cœur, & achevent ensuite la courbe comme ils peuvent: de sorte qu'on n'employe presque jamais la méthode qui seroit la plus naturelle dans la circonstance présente. La maniere dont il nous faudra traiter souvent ce sujet dans la suite, ne nous dispenseroit que trop de rapporter ici cette méthode; mais on le fera néanmoins en vue d'une plus grande utilité. Il s'agit de faire passer une parabole AQE par le point donné E, qui ait son sommet en A & la droite AC pour axe. Ayant abaissé du point E les perpendiculaires EK & EM sur AL & sur AC, je mets sur AC, prolongé indéfiniment vers N, le centre d'un demi-cercle MKN qui passe par les points K & M, & la ligne AN sera le parametre de la parabole, lequel ser-

Fig. 7. vira à trouver les autres points de cette courbe, & en aussi grand nombre qu'on voudra. Est-il question de sçavoir par quel point doit passer cette courbe exactement au-dessous du point P, ou par la ligne verticale PQ? On cherchera sur AN le centre du demi-cercle NOP, qui partant toujours du point N, vient se rendre au point P. Ce demi-cercle rencontrera AL en O, & AO marquera la quantité dont la courbe passera au-dessous du point P; de sorte que si on tire l'horisontale OQ, le point Q, où elle coupera la verticale PQ, appartiendra à la parabole. On trouvera de la même maniere une infinité d'autres points.

Afin que le premier arc de cercle dont on formera le plat de la varangue, ne fasse point d'angle en E avec la parabole, & ne fasse que la toucher, il faudra que son centre soit situé en quelque point S de la perpendiculaire ER, à la parabole. Pour tirer cette perpendiculaire, il n'y aura qu'à faire, comme le sçavent tous les Géometres, la sounormale MR égale à la moitié du parametre AN.

CHAPITRE V.

Méthode de tracer les deux coupes du Vaisseau aux deux extrémités de la quille, avec la maniere ancienne dont on se servoit des lisses pour achever le Navire.

I.

De la coupe de l'arriere.

COMME la forme de la poupe ou de l'arriere contribue moins aux bonnes ou mauvaises qualités du vaisseau, il importe moins comment on en trace la derniere coupe. Fig. 8. Dans la figure 8, l'étambot est représenté par CD; & la lisse d'hourdy par AB, qui est placée dans l'endroit le plus large de l'arriere, & ordinairement à l'extrémité de l'étambot. La hauteur de cette derniere piece dépend de diverses con-

ſidérations qui ſont purement de convenance ; mais il eſt certain que la hauteur à laquelle on place la liſſe d'hourdy, au lieu d'être réglée ſur la longueur de la quille, ou ſur celle du bau, ne le devroit toujours être que ſur le creux, ou ſur la profondeur qu'on veut donner au navire, dont elle dépend immédiatement. L'endroit le plus large, ou le fort du navire vers l'arriere, eſt toujours beaucoup plus haut que vers le milieu, ou que dans le premier gabari ; il l'eſt preſque d'une moitié plus, & au moins d'un tiers. * Ces deux hauteurs ſont dans preſque tous les vaiſſeaux comme 10 eſt à 14 ou à 15. Ainſi on peut remarquer en paſſant, que le premier pont qui répond à l'endroit le plus large, ou au *fort*, vis-à-vis de *la maîtreſſe couple*, ne s'éleve pas encore aſſez vers la poupe pour ſe trouver auſſi haut que les endroits les plus larges.

Fig. 8.

* Voyez ce que nous diſons de la hauteur du pont dans le chap. III.

Cela ſuppoſé, des deux points F & G, qui ſont au milieu des deux moitiés AC & BC de la liſſe d'hourdy, comme centre, on décrit deux arcs de cercle AH & BI par les extrémités A & B. Du point E, où ſe terminent les façons de de l'arriere, qui ont pour l'ordinaire de hauteur DE les $\frac{2}{3}$ du creux du navire, on tire enſuite les deux lignes droites EH & EI, tangentes à ces deux arcs ; il n'y a plus qu'à prendre des deux côtés de l'étambot deux points L & N, un peu au-deſſous de E, & faire diſparoître les angles en E par deux petits arcs qui touchant les deux tangentes, viennent ſe rendre à ces deux points. Alors tout le gabari de l'arriere ſera tracé au-deſſous de la liſſe d'hourdy : ſon contour ſera AHKLNMIB.

La partie ſupérieure AQOPRB aura plus ou moins de hauteur, ſelon le nombre d'étages que doit avoir la poupe; mais les Conſtructeurs font preſque toujours la largeur OP égale aux trois quarts de la longueur de la liſſe AB ; puiſque pendant que cette liſſe eſt les $\frac{2}{3}$ du bau, le couronnement OP en eſt preſque toujours la moitié. On tire deux lignes droites AO & BP qu'on diviſe chacune en trois parties, & la premiere, ou celle d'en bas AQ, d'un côté, & BR de l'autre, ſervent de cordes aux deux arcs AQ & BR qui

Fig. 8. tournent leur convexité en dehors, pendant que le haut est formé de deux autres arcs QO & RP qui tournent leur convexité en dedans, & qu'on décrit presque toujours avec un rayon deux fois plus grand. Le tout forme le dernier gabari de l'arriere, qu'on nomme, comme je l'ai dit, les estains, ou les cornieres. Dans tout ceci les Constructeurs se permettent divers changemens pour procurer un plus grand ornement à leur ouvrage, mais que les Géometres ne se résoudroient, sans doute, qu'avec peine à prendre pour objet de leurs examens.

II.

De la figure de la coupe de l'avant.

On peut former à-peu-près de la même maniere le gabari qui se place en avant à l'extrémité de la quille. On suit pour le tracer différentes pratiques, que nous ne nous arrêterons pas à specifier scrupuleusement : nous nous contenterons, en les changeant en d'autres plus naturelles, de rendre précisément les mêmes figures. L'endroit du fort, ou de la plus grande largeur de chaque gabari en avant, se place aussi de plus haut en plus haut dans les gabaris qui sont plus vers la proue; mais le changement ne se fait pas par de si grands dégrés que vers l'arriere. La hauteur DC (Fig. 9.) de la plus grande largeur de la coupe faite à l'extrémité de la quille, du côté de la proue, ne surpasse le *creux*, ou la profondeur prise dans le plan du premier gabari, tout au plus que d'une septieme partie, & souvent de deux fois moins. La plus grande largeur AB de cette même coupe est, dans les frégates & dans les vaisseaux de guerre, d'une cinquieme ou d'une sixieme partie moindre que le maître bau, ou que la largeur de la premiere coupe, & seulement moindre d'une huitiéme partie dans les bâtimens de charge.

Fig. 9.

Toutes ces choses étant réglées, on prendra pour centre de l'arc AH le point F, qui est au milieu de AC, ou un point plus voisin de A, & qui ne soit qu'au tiers de AC, si on veut diminuer le renflement de la proue. Du point E qu'on fera

monter auſſi plus ou moins le long de DC, juſqu'à le faire parvenir au quart de cette hauteur, on tirera la tangente EH à l'arc déja décrit; il ne reſtera plus qu'à décrire avec un rayon égal à DC un autre arc KL qui touche la tangente en K, & qui vienne ſe terminer en L au côté de la quille. Pour trouver le centre de ce dernier arc, on tirera une parallele ST à la tangente EH, qui en ſoit éloignée d'une diſtance égale à CD, mais qu'on pourroit auſſi ſans inconvenient rendre plus grande ou plus petite, & décrivant du point L, comme centre, & avec le même intervalle, un petit arc de cercle Y, cet arc coupera la ligne ST dans le point Y qui ſera le centre de l'arc requis KL. On fera la même choſe pour l'autre côté, & on aura de cette ſorte le contour entier AKLNMB du gabari de l'extrémité de la quille du côté de l'avant. Les allonges de revers & CBRP ſe formeront par deux arcs de cercle, comme dans le premier gabari; avec cette ſeule différence, qu'on leur donnera un peu moins de *rentrée*; & qu'il faudra auſſi les rendre plus longues, à cauſe de la hauteur qu'ajoute au navire le gaillard, ou le château d'avant.

Fig. 9.

III.

Avec le peu de régles que nous venons de donner, & ſouvent avec beaucoup moins, les Conſtructeurs ont bâti pendant long-tems leurs vaiſſeaux; & il y en a encore quelques-uns qui ne croyent pas avoir beſoin de plus grands ſecours. En Hollande, les maximes qu'on y obſerve preſque toujours ne déterminent pas davantage la figure du navire: c'eſt à l'ouvrier à conduire preſque tout ſon ouvrage à l'œil. La même choſe arrive en Eſpagne, où il fut ordonné, en 1721, de ſe conformer à des régles qui ne different que peu des précédentes, ſi ce n'eſt qu'elles laiſſent la figure de la carene encore plus indéciſe; & ne donnent pas plus lieu de conſtruire de bons navires que d'en conſtruire de très-mauvais, malgré les ſuccès heureux qu'on leur a attribués *. Les trois principaux gabaris étant formés & les couples achevées, on les place dans les endroits de la

* *Proporciones de las medidas mas eſſenciales dadas por el Theniente general de la Armada real del Mar occeano Don Antonio de Gaſtañeta de orden del Rey para la Fabrica de Navios, y Fregatas de guerra, &c.*

quille où elles doivent être, c'est-à-dire, la maîtresse couple aux cinq douziemes de la quille, à commencer de l'avant, ou dans quelqu'autre point conformément à l'usage dominant, & les deux autres aux deux extrémités. On ne fait plus ensuite que tendre de longues tringles ou regles de bois flexibles d'une couple à l'autre, & on apprend par les contours qu'elles prennent, les dimensions ou les diverses largeurs qu'il faut donner aux couples intermediaires. Ces longues tringles, larges de 2 ou 3 pouces, dont on se sert encore continuellement, se nomment *lisses*, qu'il faut bien distinguer de ces grosses poutres de même nom, dont on fortifie la poupe & qu'on met perpendiculairement à l'étambot. La premiere des lisses dont il s'agit actuellement, se nomme la *lisse des façons*; elle part de la hauteur des façons sur l'étambot, elle passe par l'extrémité du plat de la premiere varangue, & vient se rendre sur l'étrave à la hauteur des façons. On entend assez qu'il y a deux de ces lisses; l'une d'un côté du navire, & l'autre de l'autre: nous n'en avons représenté qu'une dans la figure premiere, pour éviter la confusion; c'est ONMLK. Deux autres lisses passent par les endroits les plus larges de toutes les couples, & se nomment les *lisses du gros*, ou du *fort*: nous n'en avons encore ici marqué qu'une TXH. Deux autres lisses passent par les points d'inflexion de toutes les allonges de revers, que nous n'avons point représentées, non plus que les *deux lisses moyennes* qu'il y a de chaque côté entre la plus basse, ou la lisse des façons ONMLK, & la lisse du fort THX. Pour placer ces *lisses moyennes*, on divise en trois parties égales sur les estains, sur la maîtresse couple & sur l'étrave les intervalles qu'il y a entre les deux premieres lisses déja placées, & on fait passer d'une extrêmité du vaisseau à l'autre les deux dernieres lisses par les points de division.

Fig. 1.

Il est vrai que comme les anciens Constructeurs n'avoient que quatre points, ou seulement trois, pour situer chaque lisse, ils pouvoient en les tendant plus ou moins, leur donner diverse convexité; mais leur grande attention

étoit d'empêcher qu'elles formassent des angles dans leur courbure, ou de faire qu'elles se trouvassent pliées partout insensiblement. Toute la figure du vaisseau se trouvoit indiquée de cette sorte, & il étoit facile de voir ensuite comment il falloit former toutes les couples qui devoient être placées en avant & en arriere du premier gabari. Quelque bien conduit que fût l'ouvrage, il falloit souvent y retoucher un peu; enlever du bois d'un membre pour diminuer sa convexité, & quelquefois y appliquer des especes de coins pour en augmenter le renflement. Cependant le vaisseau qui dans ces derniers tems a été regardé comme un chef-d'œuvre dans son genre, & qu'il seroit à souhaiter qu'on eût depuis pris pour modele dans la construction des vaisseaux du premier rang, *le Royal Louis* * qu'on a été obligé de défaire de notre tems à Brest, à cause de sa caducité, n'avoit été bâti que de cette maniere, ce semble, si hazardée. Il est triste que les Constructeurs ne puissent pas travailler pour la postérité, comme les Architectes, ou les Sculpteurs. Tout ce qu'on pourroit faire de plus, lorsqu'ils ont réussi aussi parfaitement, ce seroit de perpetuer leurs vaisseaux en les remplaçant par d'autres construits précisément sur les mêmes gabaris, & qu'on regardât toujours, comme l'ouvrage du premier Maître. Il eût encore été plus utile que juste de rendre cet honneur à l'habile ouvrier du Royal Louis.

* Vaisseau construit à Toulon, en 1692, par François Coulon.

Cette méthode de construire les vaisseaux, toute imparfaite qu'elle étoit, valoit incomparablement mieux que celle qu'on a voulu lui substituer dans la suite *. On prétendoit suivre une opération particuliere pour trouver la figure de chaque couple intermediaire, & on en devoit mettre d'abord un certain nombre limité, sur lesquelles les autres seroient reglées. On avoit une méthode pour tracer la premiere, une méthode différente pour tracer la seconde, la troisieme, &c. mais comme ces opérations étoient indépendantes les unes des autres, quoiqu'on tachât de mettre entr'elles le plus d'affinité qu'il se pouvoit, il arrivoit toujours que l'assemblage de toutes les couples ne formoit point

* Dans *l'Architectur Navale* de M. Dassié, & dans le *Resumen Nautico de lo que se pratica en el Theatro Naval*, &c.

ensuite une surface réguliere, & qu'il s'en falloit extrémement que les courbures du vaisseau fussent exemptes de saults, & conduites par des degrés reglés. Nous avons la principale obligation à M. le Chevalier Renau d'avoir remedié à cet inconvenient, en donnant le moyen de rendre tous les gabaris dépendans les uns des autres. M. le Maréchal de Tourville, aidé du P. Hoste, dont nous avons un livre sur la Théorie de la construction, y a aussi je crois contribué.

Si les lisses ont perdu de cette sorte une partie de l'ancien usage qu'elles avoient, elles ne l'ont pas perdu entierement, & elles en ont acquis un autre, comme on le verra dans la suite, & qui est même, si on le peut dire, plus noble. Elles servent toujours aux Constructeurs à reconnoître si les couples élevées sur la quille ne forment point les unes par rapport aux autres, quelques irregularités sensibles; & elles aident outre cela à situer les bordages dont elles marquent la direction. On les ôte à mesure qu'en *bordant* on parvient jusques à elles; de sorte qu'elles ne restent en place que pendant qu'on travaille à l'ouvrage.

CHAPITRE VI.

Remarques générales sur les lisses, avec le moyen de former l'arriere du Vaisseau en rendant toutes les coupes verticales faites perpendiculairement à sa longueur dépendantes de la premiere & de celles de l'extrémité.

I.

On projette pour l'ordinaire sur la premiere coupe ou sur le maître gabari non-seulement les deux coupes des deux extrémités du vaisseau, mais aussi toutes les autres qui sont intermediaires. C'est ce que représente la figure 10, dans laquelle IGD2G2I est le premier gabari, ou la

Fig. 10.

la coupe du navire faite perpendiculairement à sa longueur dans l'endroit le plus gros. P*m*D est la moitié du gabari de l'avant, ou de la coupe faite à l'extrémité de la quille du côté de la proue, & XTR est la moitié du dernier gabari de l'arriere, ou le demi-contour de la poupe vue d'une distance infinie dans le prolongement de la longueur du vaisseau. On ne met ainsi que les moitiés de toutes les coupes du navire, excepté de la premiere, ou de la plus grande, qu'on trace entiere, afin d'avoir toute la forme du vaisseau dans une seule figure, ou dans un seul plan; la partie de la proue d'un côté, & la partie de la poupe de l'autre. On voit aussi dans ce plan, non pas *les lisses*, mais leurs projections : EK△ marque la projection de celle *des façons* du côté de l'avant & A*n*W la projection de la *lisse du fort*; HO, celle des points d'inflexion, & IP du *plat-bord*, c'est-à-dire, du haut du flanc du navire. Du côté de la poupe, 2ER est la lisse *des façons*, & 2AV celle *du fort*. Il est évident que toutes ces lignes ne sont pas les lisses mêmes, mais leurs projections : car il faut remarquer que si elles vont d'un gabari à l'autre, si la lisse du fort, par exemple, du côté de la proue va du point A au point *n*, ces deux points sont réellement dans des plans différens & éloignés l'un de l'autre des cinq douziemes de la longueur de la quille. Ainsi supposé que la lisse fût une ligne droite au lieu d'être une ligne courbe, elle seroit l'hypothénuse d'un triangle rectangle dont un côté seroit A*n*, & l'autre la distance entre les deux coupes.

Fig. 10.

C'est ce qu'on verra encore mieux en jettant les yeux sur la Figure 11, qui représente toute la partie de la proue depuis le maître gabari ou la premiere coupe AFD2A2. La ligne D1D2 représente la partie de l'avant de la quille & DI*v* est l'étrave, qui est un arc de cercle d'environ 70 dégrés, lequel a son rayon égal à la hauteur même de l'étrave. On voit sur la premiere coupe la projection *nm*D2 de la coupe NLD1, qui est à l'extrémité de la quille; j'ai marqué aussi les projections A*n*W, G*m*Z, FI&3, &c. de toutes les lisses, quoique je n'aye représenté réellement qu'une

Fig. 11.

Fig. 10 & 11.

ſeule liſſe GMζ, celle qui eſt immédiatement au-deſſous de celle *du fort*. Cette liſſe, comme on voit, eſt une ligne courbe dont ζzZ eſt l'axe, & qui a pour ordonnées les interſections Mz, GZ, &c. de ſon plan avec celui de chaque coupe, ou ſes propres projections ſur ces mêmes coupes. Malgré cette extrême différence qu'il y a entre une ligne courbe & ſes ordonnées, entre les liſſes & les lignes droites qui les repréſentent, nous donnerons quelquefois, pour éviter la longueur du diſcours, & je crois l'avoir déja fait, le nom de liſſes à ces lignes droites. Au reſte on voit auſſi dans la même figure, que nous avons diviſé en trois parties égales la diſtance vδ des liſſes du fort & des façons ſur l'étrave vD1 pour trouver les points ζ & 6 où doivent venir ſe rendre les deux liſſes moyennes, & que la diſtance AE ſur la premiere coupe, eſt également partagée en trois parties égales par ces mêmes liſſes.

Il ſe préſente ici une remarque importante qui étonnera ſans doute les Conſtructeurs, de même que toutes les autres perſonnes qui ont quelque connoiſſance de l'Architecture Navale. Les liſſes marquées par des lignes droites dans le plan, & qui ſervent à l'achever, ne répondent point exactement, contre ce qu'on a penſé juſqu'à préſent, aux liſſes placées de la maniere ordinaire ſur le vaiſſeau. Ces dernieres, comme je l'ai déja dit, ſont de longues regles de bois qu'on applique ſur la ſurface convexe que forment enſemble les membres, & qu'on ne fait plier qu'autant qu'il eſt néceſſaire pour imiter la courbure de la ſurface, ſans ſe permettre de les faire détourner à droite ou à gauche; de ſorte qu'on s'efforce, pour ainſi dire, de les rendre dans leur courbure, les plus droites qu'on peut. Si on leur donnoit toute autre ſituation, elles perdroient l'uſage qu'elles ont d'indiquer la ſituation des bordages; & outre cela on ne ſçauroit comment les courber. Mais il ſuit de là qu'elles ſont placées ſelon les lignes courbes connues des Géometres, leſquelles marquent la moindre diſtance d'un point à un autre ſur une ſurface courbe, & qu'elles ſont donc des courbes à double courbure, excepté dans

très-peu de cas, mais qui n'ont point encore eu lieu dans la conſtruction; comme lorſque la ſurface eſt celle d'un conoïde au ſommet duquel les lignes vont ſe terminer. Hors de ce petit nombre de circonſtances, plus on entreprend de rendre droit un fil ou quelqu'autre corps flexible ſur une ſurface courbe, plus on eſt ſûr de le courber en différens ſens, parce qu'on l'oblige à ſuivre la ſurface dans tous ſes contours : il faudroit travailler exprès à l'écarter de la direction qu'il tend à prendre, lorſqu'il paſſe ſur les endroits penchans de la ſurface, pour qu'il ne fût courbe que dans un ſeul ſens, ou pour que ſa projection pût être une ligne droite.

Les lecteurs qui faute de Géométrie ne voyent pas avec aſſez d'évidence la vérité de ce que nous avançons ici, peuvent s'en aſſurer aiſément, à l'égard des liſſes placées, comme on les place toujours. Ils n'ont qu'à les regarder d'une certaine diſtance, & chercher s'il y a un point d'où elles paroiſſent des lignes parfaitement droites ; & ils verront que non. C'eſt auſſi à cette différence qu'il faut attribuer l'embarras où ſe trouvent quelquefois les Conſtructeurs, qui ſans en connoître la cauſe, ne ſçauroient concilier certaines meſures priſes dans leur plan & ſur le vaiſſeau, & qu'ils rapportent aux liſſes qu'ils croyent toujours parfaitement correſpondantes. On peut néanmoins continuer à ſe ſervir des unes & des autres, pourvû qu'on ait ſoin de les bien diſtinguer; celles qui répondent dans le plan à des lignes droites, & qui ne ſont autre choſe que les ſections de la ſurface convexe de la carene, faites par des plans perpendiculaires au premier gabari, comme l'eſt la ligne ζMG dans la figure 11; & les liſſes effectivement placées pendant la conſtruction du navire, ſur la ſurface que forment les membres, leſquelles ſont toujours doublement courbes.

Fig. 11.

Cette diſtinction entre les liſſes étant admiſe, ſi nous voulons aſſujettir la figure de toutes les coupes intermediaires du vaiſſeau, à celle de la premiere & à celle des deux autres coupes qui ſont aux extrémités de la quille,

nous n'avons qu'à donner aux lisses dont le plan exprime les projections, une courbure reguliere plus ou moins convexe, selon qu'on voudra renfler plus ou moins la carene. La premiere courbure qui se présente est celle du cercle; mais elle est difficile à décrire en grand, & c'est pour cette raison, sans doute, qu'on employe plus souvent, ou des ellipses, ou même des courbes transcendantes qui sont plus faciles à former. Un très-grand arc d'ellipse se décrit plus aisément qu'un arc de très-grand cercle; parce que pour décrire ce dernier, il faut avoir son centre qui se trouve à une grande distance, ou bien il faut avoir recours à quelques autres expédiens difficiles à employer dans la pratique; au lieu qu'on peut au contraire décrire un très-grand arc d'ellipse, en décrivant un assez petit arc de cercle dont on emprunte les ordonnées, qu'on ne fait que mettre à beaucoup plus de distance les unes des autres qu'elles n'étoient dans le cercle. La seconde ligne que les Constructeurs employent ensuite le plus volontiers, est celle des sinus, mais *alongée*; & ils la forment encore par cette transposition d'ordonnées qu'ils nomment *réduction*.

II.

Fig. 10 & 12.

Pour former l'arriere en donnant aux lisses la courbure d'arcs d'ellipse, ils décrivent un arc de cercle 2FA (Fig. 12.) dont le rayon est triple de la plus grande lisse projettée 2FS sur la premiere coupe, & qui a pour sinus verse 2FS la longueur même de cette projection. C'est-à-dire que la ligne 2FS dans la figure 12 doit être de même longueur que 2FS dans la figure 10, & qu'avec un rayon trois fois plus grand & en plaçant le centre sur 2FS prolongée, on décrit l'arc 2FA jusqu'à la rencontre de la perpendiculaire ou du sinus droit SA. On divise AS en autant de parties égales qu'on veut déterminer la figure de différentes coupes entre la premiere & la derniere posée à l'extrémité de la quille. Nous nous sommes contentés ici, pour ne point rendre notre figure trop confuse, de diviser seulement AS en sept parties égales; mais dans les figures ou dans les

plans que font les Constructeurs, & dont les côtés ont plusieurs pieds de longueur, on doit pousser la division beaucoup plus loin. Il faudra ensuite des points de division élever des perpendiculaires à AS, ou tirer des paralleles à 2FS jusqu'à la rencontre du cercle, & ces dernieres lignes transportées sur 2FS, apprendront comment il faut diviser 2FS dans la figure 10, pour avoir les points par lesquels doivent passer les contours de toutes les coupes intermediaires. On fera la même chose pour toutes les autres lisses 2ER, 2GT, 2AV, &c. ou ce qui revient au même, on les divisera proportionnellement à 2FS; joignant enfin par une courbe tous les points qui se répondent, les premiers points de toutes les lisses les uns avec les autres, tous les seconds points &c. on aura la figure des différentes coupes du vaisseau faites entre l'arriere & le premier gabari. Il faut remarquer que ces différentes coupes doivent être à des distances égales les unes des autres sur la quille, parce qu'elles doivent partager toute la longueur de la poupe depuis la premiere coupe, de la même maniere qu'on a divisé la ligne SA de la figure 12.

Fig. 10 & 12.

Pour diviser les autres lisses proportionnellement à la lisse moyenne 2FS (Fig. 12.), on prend ordinairement un point K sur le prolongement de AS, dont on tire des lignes K2F, K1, K2, &c. à tous les points de division de 2FS, & il ne reste plus, comme il est évident, qu'à transporter la longueur des autres lisses parallelement à 2FS entre KS & 2FK, pour qu'elles soient divisées en même rapport. Mais plusieurs Constructeurs n'admettent point cette proportionnalité; ils divisent chaque lisse par une figure particuliere, ils font toujours 2FS égale à la lisse dont il s'agit; mais ils donnent différens rayons à l'arc 2FA. Pour la lisse des façons ils font le rayon triple; pour la premiere lisse moyenne ils le font $2\frac{1}{3}$ fois plus grand; pour la seconde lisse moyenne $2\frac{1}{3}$; pour la lisse du fort 2 fois; pour la lisse des points d'inflexion $1\frac{3}{4}$, & enfin ils le r'augmentent, pour la lisse du *plat-bord*, ou du bord du navire, ils le font deux fois plus grand.

D'autres Conftructeurs, au lieu de divifer AS en parties égales, divifent l'arc même 2FA, & achevent le refte comme ci-devant. Alors ils donnent aux liffes une courbure tranfcendante, puifqu'elle dépend de la relation qu'il y a entre les arcs de cercle & leurs finus. Les liffes imitent la *courbe alongée des finus* dont nous avons déja parlé. Il eft évident que quelque méthode qu'on fuive, on n'a toujours qu'à rendre le rayon de l'arc 2FA plus petit, lorfqu'on veut courber davantage les liffes, ou renfler la carene. On lui donne le plus grand renflement, en faifant le rayon égal à la longueur même 2FS de la liffe projettée, & alors l'arc 2FA devient un quart de cercle.

CHAPITRE VII.

De la maniere de former toute la partie de l'avant du Navire.

I.

ON employe à-peu-près les mêmes moyens pour la proue, mais on en rend toujours le renflement plus confidérable que celui de la poupe, & l'on vient à bout, pour ainfi dire, par deux arcs de cercles, de le multiplier. Ayant prolongé, dans la figure 10, les projections des liffes jufqu'à la rencontre de la verticale DY, on fait un quart de cercle ZGO (Fig. 13.) qui a pour rayon la longueur entiere GZ d'une des projections; on prend enfuite la portion Z*m* dans la figure 10, & on la met en forme de finus en zM dans la figure 13, parallelement au rayon GZ. On prolonge l'autre rayon vers C, & on décrit un nouvel arc de cercle BZ, qui ayant fon centre en quelque point C, a pour rayon ou une fois & demie Zz, ou le double de cette même ligne Zz, felon qu'on veut donner plus ou moins de renflement à la proue, & cet arc fe termine à Mz prolongée jufqu'en B. Après cela on divife l'arc BZ en autant de par-

Fig. 10 & 13.

ties égales qu'on veut diviser la quille en avant du maître gabari, ou qu'on se propose de trouver la figure de différentes coupes en avant de la premiere. D'autres Constructeurs, au lieu de diviser l'arc BZ en parties égales, le divisent en parties inégales, mais qui répondent à des parties égales du sinus Bζ. Enfin conduisant des points de division D, E, &c. des paralleles à BM jusqu'à la rencontre du quart de cercle, on ne fait plus que transporter les parties PH, QI, &c. sur GZ, & cette ligne se trouve divisée de la même maniere que le doit être la lisse GZ dans le plan représenté par la figure 10; c'est-à-dire qu'il faut mettre Z1 en Z1; Z2 en Z2, &c. pour avoir les points par lesquels doivent passer les contours des coupes de l'avant.

Fig. 10 & 13.

Au lieu de faire une autre figure semblable à la treizieme pour les autres lisses, souvent on les divise proportionnellement, du moins les parties interceptées entre la premiere coupe IGD & la derniere P*m*D; c'est-à-dire, qu'au lieu de porter les lisses entieres entre KG & KZ, on porte seulement leur partie comme A*n* entre K*m* & KG. Mais il faut remarquer que cela donne une autre forme à la proue que lorsqu'on fait une figure particuliere pour la longueur entiere de la projection de chaque lisse.

II.

En suivant cette méthode & celle que nous avons expliquée dans le Chapitre précédent, tout le corps du vaisseau se trouve déterminé, sçavoir la partie qui est comprise entre les deux coupes extrêmes, placées aux deux extrémités de la quille. Il reste seulement à former l'extrémité de la proue, ou à achever la partie qui est au-dessus de l'étrave, la partie ND1*v* de la figure 11. Comme cette partie n'est pas grande, qu'elle est le prolongement d'une surface déja formée, & qu'il faut qu'elle se termine à l'étrave qui est déja placée, les Constructeurs l'ont conduit à vue d'œil; du moins je ne sache pas qu'ils ayent eu de méthode reguliere jusqu'à présent, pour l'achever, dans la circonstance dont il s'agit. La question se réduit à prolonger sur la surface

convexe de la carene les courbes qui forment les lisses : mais il faut remarquer qu'on ne peut pas continuer précisément les mêmes lignes, parce qu'elles iroient peut-être se rencontrer ou en delà ou en deçà de l'étrave. Tout ce qu'on peut donc faire, c'est d'ajouter ou d'enter à l'extrémité de la courbe que forme déja la premiere partie de la lisse, une autre courbe qu'on choisira, qui lui soit tangente, & qui ait la courbure qui convient pour venir se rendre à l'étrave.

Il n'est pas difficile de tracer sur un plan la courbe que forme la premiere partie de la lisse. S'il s'agit, par exemple, de la seconde lisse moyenne, nous avons ZG dans la figure 10 pour la plus grande ordonnée, & 1Z, 2Z, &c. pour toutes les autres qui doivent être arrangées à une égale distance les unes des autres, & à la même distance qu'il y a entre les coupes dont on a obtenu la figure. Ainsi, si l'on tire une droite ζZ (Fig. 14.), égale à toute la partie de la quille qui est en avant du maître gabari, il n'y a, après l'avoir partagée en parties égales, qu'à lui élever des perpendiculaires égales aux ordonnées que nous venons de specifier, & la courbe GHIM qui passera par leurs extrémités à toutes, représentera la courbure que prendra la lisse en partant du point G du premier gabari (Fig. 10.), pour se rendre au point *m* du gabari de l'avant, qui est à l'extrémité de la quille; elle marquera la courbure de la lisse même GM (Fig. 11.). Cette courbe étant tracée, (Fig. 14.) on pourra lui tirer méchaniquement une tangente au point M, & il faudra que cette tangente le soit aussi à la portion de courbe Mζ qu'on ajoutera à l'extrémité M de la premiere.

Fig. 10 & 14.

Supposé que cette tangente soit MN, & qu'on veuille achever la lisse par un arc de cercle, il n'y aura, comme le sçavent les lecteurs, qu'à élever une perpendiculaire MS à cette tangente & ce sera sur cette perpendiculaire qu'il faudra mettre le centre de l'arc Mζ qui viendra rencontrer l'étrave en ζ. Il sera aussi toujours facile de sçavoir à quelle distance ζζ l'arc de cercle doit aller se terminer. Car

Car dans la figure 10, on a DZ pour la hauteur du point de rencontre de la lisse dont il s'agit & de l'étrave; & si on cherche dans la figure 1, ou dans la figure 11, ou dans la figure 19 faite exprès pour cela, le point ζ de l'étrave qui a effectivement cette hauteur, on pourra mesurer combien il est en dehors de l'extrémité de la quille, mesurer sa saillie ζz, & on aura l'intervalle marqué par les mêmes lettres dans la figure 14. On pourra prendre enfin, à commencer du point z, des espaces d'une certaine grandeur, comme du quart ou de la cinquieme partie de ceux qui ont servi à diviser la quille; & si on prend les ordonnées correspondantes, & qu'on les porte sur la projection Z*m* de la lisse, dans la figure 10, à commencer du point Z, on trouvera les points par lesquels passeront les contours des coupes de la partie saillante de la proue. On fera la même chose pour toutes les autres lisses, & on sera ensuite en état de tracer le contour de ces coupes particulieres. Je ne les ai pas représentées dans la figure 10, parce qu'elles ne sont pas à la même distance les unes des autres que le sont les premieres; mais on les voit dans la figure 15 qui n'appartient donc qu'à la seule partie saillante de la proue, ou à la partie destinée à couvrir la coupe P*m*D de la figure 10.

III.

Tout ce qui paroît manquer ici pour la régularité de la méthode, c'est le moyen de tirer la tangente MN à l'extrémité M de la courbe qu'on veut prolonger par une autre ligne courbe. On peut sans doute dans l'usage ordinaire se contenter de tirer méchaniquement cette tangente; cependant je montrerai en peu de mots la maniere de la conduire géométriquement. Les ordonnées de la lisse (Fig. 11 & 14) ne sont autre chose, comme on le sçait, que les ordonnées même du quart de cercle GZO, (Fig. 13.) non pas appliquées aux divers points de l'arc ZB étendu en ligne droite, mais appliquées aux points d'une droite zZ (Fig. 14.) plus longue dans un certain rapport; mais nous

ſuppoſerons pour une plus grande facilité, que l'arc ZB de la figure 13 eſt égal à la droite ζZ de la figure 14, ou de la figure 11. Ainſi tirant, dans la figure 13, une parallele $\beta\mu$ infiniment proche de BM, on aura $B\beta$ pour la différentielle des abſciſſes, & $S\mu$ pour la différentielle correſpondante des ordonnées; & puiſqu'on ſçait que ces différentielles ſont entr'elles comme la ſoutangente qui appartient à un certain point de la courbe eſt à l'ordonnée correſpondante, nons n'avons qu'à chercher leur relation réciproque, pour nous mettre en état de déterminer la ſoutangente & de tirer la tangente. Si du point β, on conduit la petite perpendiculaire βT à BM, la reſſemblance du grand triangle rectangle $B\zeta C$ & du petit βTB, donnera cette analogie $BC \mid B\zeta \parallel B\beta \mid \beta T$ qui ſe trouve égale à $\frac{B\zeta \times B\beta}{BC}$, & c'eſt en même tems la valeur de SM. Mais la reſſemblance des deux autres triangles $Z\zeta M$ & μSM, nous donne cette autre analogie; $M\zeta \mid Z\zeta \parallel SM = \frac{B\zeta \times B\beta}{BC} \mid S\mu$, qui ſe trouve égale de cette ſorte à $\frac{B\zeta \times B\beta \times Z\zeta}{BC \times M\zeta}$.

Il eſt donc clair que nous avons maintenant en grandeurs finies & connues le rapport qu'il y a entre les différentielles $S\mu$ des ordonnées, & entre les petites parties correſpondantes $B\beta$ de l'axe de la courbe que nous examinons; & puiſque ce rapport eſt le même que celui qu'il y a entre les ordonnées & les ſoutangentes, il ne nous reſte plus qu'à faire cette derniere analogie; $S\mu = \frac{B\zeta \times B\beta \times Z\zeta}{BC \times M\zeta}$ eſt à $B\beta$, ou ce qui revient au même, $B\zeta \times Z\zeta$ eſt à $BC \times \overline{M\zeta}^2$, comme l'ordonnée $M\zeta$, eſt à $\frac{BC \times \overline{M\zeta}^2}{B\zeta \times Z\zeta}$ pour la longueur de la ſoutangente. C'eſt-à-dire que les ſoutangentes ſont égales au produit du quarré du ſinus $M\zeta$ par BC, diviſé par $B\zeta$ & par $Z\zeta$; ce qui nous fournit la conſtruction ſuivante. Il n'y a qu'à tirer au point M du quart de cercle la tangente MV, & on aura ζV pour la valeur de $\frac{\overline{M\zeta}^2}{Z\zeta}$. Ti-

rant ensuite VX perpendiculaire à BC, cette ligne VX sera la valeur de $\frac{BC \times \overline{M\zeta}^2}{\text{[illegible]}\zeta \times Z\zeta}$ & sera donc égale à la soutangente requise. Il est vrai que cette soutangente n'appartient qu'à la courbe qui résulte de l'application des ordonnées ζM, RL, &c. aux divers points de l'arc BZ rendu ligne droite; mais pour avoir celle qui appartient à la courbe MG (Fig. 14.) ou à la lisse même, il n'y a qu'à augmenter la premiere en même raison que ζZ (Fig. 14.) est plus grand que l'arc BZ (Fig. 13.)

CHAPITRE VIII.

Faire ensorte que la courbure entiere des lisses depuis la premiere coupe jusqu'à l'étrave appartienne à la même ligne courbe.

I.

LES Constructeurs, comme on l'a déja insinué, n'ont point de méthode pour faire ensorte que chaque lisse suive la même ligne courbe depuis le maître gabari jusqu'à l'étrave, lorsqu'ils sont obligés de donner à la coupe de l'avant, faite à l'extrémité de la quille, une figure particuliere. Mais lorsqu'ils sont dispensés d'observer cette derniere condition, ou lorsqu'au lieu d'être obligés de faire passer une lisse GMζ (Fig. 11.) par les trois points G, M & ζ, ils ne sont assujettis qu'à la faire passer par G & ζ, ils ont plusieus moyens pour la conduire d'une maniere uniforme. On n'en indiquera ici qu'un seul qui ne differera presque point de la méthode expliquée dans le premier article du Chapitre précédent, & on l'empruntera du manuscrit de M. de Pulmi dont on a déja parlé.

Après avoir décrit un quart de cercle WAC (Fig. 16.) dont le rayon est égal à la longueur WA (Fig. 10) de la

projection de la lisse du fort, ils décrivent d'un rayon double, ou quelquefois d'un rayon seulement une fois & demie plus grand, & en mettant le centre sur WC prolongée, un arc WB qui se trouve terminé par CB, perpendiculaire à l'extrémité C de WC. La plus grande longueur qu'ils donnent au rayon de l'arc WB est de le faire double de WC, comme je viens de le dire, lorsqu'ils veulent diminuer considérablement le renflement de l'avant; mais ils rendent quelquefois ce même rayon beaucoup plus petit; car ils se contentent dans certains cas de le faire égal à WC, alors l'arc WB devient un quart de cercle; & ils parviennent par-là, pour ainsi dire à la limite ou au terme de la plus grande convexité que peut avoir la proue. Après cela ils divisent l'arc WB en autant de parties égales qu'ils veulent trouver la figure de différentes coupes en avant du maître gabari. Dans d'autres cas, au lieu de rendre les parties WD, DE, &c. égales entr'elles, ils font subsister cette égalité entre les parties correspondantes de BC. Enfin tous s'accordent à tirer des points de division D, E, F, &c. jusqu'à l'arc AC du quart de cercle des paralleles à BC, & à transporter les parties MH, NI, &c. sur le rayon WA, pour sçavoir de quelle maniere il faut diviser la lisse WA, dans la figure 10, afin d'avoir les points par lesquels doivent passer les contours de toutes les coupes.

A l'égard des autres lisses, ils se contentent pour l'ordinaire de les diviser proportionnellement en prenant un point K sur le prolongement de CW, il n'importe en quel endroit, en tirant de ce point des lignes droites à tous les points de division de WA, & en plaçant les projections des autres lisses parallelement à WA. Ils observent seulement, lorsqu'ils placent les projections GZ des autres lisses paralleles à WA, de ne les pas mettre depuis KA jusques à KW, mais de faire répondre leurs extrémités Z à une certaine partie de W 3, selon que l'extrémité ζ (Fig. 11.) de la lisse GM ζ, tombe au tiers ou au quart, &c. d'une des parties égales dans lesquelles on a divisé la longueur de l'avant du vaisseau. Telle est la pratique qu'on suit tou-

jours, & qui eſt fort éloignée d'être reguliere : ſi elle ne fait pas ſouvent naître des angles conſidérables & comme des ſaults dans la courbure de la proue, ce n'eſt que parce qu'on ſe donne toujours la liberté, dans l'exécution, de changer quelque choſe dans les gabaris tracés avec le plus de ſoin. Dans la rigueur, c'eſt de l'arc FB dont il faut prendre une certaine partie aliquote, puiſque c'eſt l'arc entier BW qui repréſente ſeul la longueur totale de la proue. C'eſt-à-dire, qu'il faut qu'il y ait même rapport de tout l'arc WB à la partie BP qu'on en retranche, lorſqu'on veut diviſer les autres liſſes, que de toute la longueur νW (Fig. 11.) de la proue meſurée dans le plan de la liſſe du fort, à ſon excès ſur la longueur ζZ qu'a la proue dans le plan, par exemple, de la liſſe moyenne qui eſt immédiatement au-deſſous. Le point P de la figure 16 étant ainſi trouvé, il n'y aura qu'à tirer PQ parallelement à BC; conduire QR parallelement à CW; joindre les points K & R par la droite KR ; & ce ſera entre KA & KR qu'il faudra placer la longueur ZG de la projection de la liſſe dont il s'agit, pour avoir tous les points de diviſion : il faudra faire la même choſe pour tous les autres.

II.

Au reſte il eſt facile de ſuppléer à la méthode dont on a beſoin pour aſſujettir à la même courbe les liſſes entieres, lorſque la figure de la coupe de la proue, faite à l'extrémité de la quille, eſt déterminée. On peut même reſoudre le problême d'une infinité de manieres, & en ſe ſervant, il n'importe de quelle ligne courbe ; pourvu qu'elle ait plus d'un parametre, auſſi-tôt qu'on veut aſſujettir les axes à une certaine ſituation, & qu'on ne veut pas donner aux vaiſſeaux une figure trop différente de celle qu'ils ont. Il s'agit en général de faire paſſer (dans la figure 11.) une courbe par les trois points donnés G, M, ζ; en faiſant enſorte, pour ſe conformer à l'uſage qui a toujours regné juſqu'à préſent, qu'elle ſoit perpendiculaire en G à ſon ordonnée GZ. Il n'y aura pas plus de difficulté pour chaque autre liſſe ; on

aura toujours un point par lequel elle doit paſſer ſur le premier gabari, un autre ſur la coupe à l'extrémité de la quille, & un troiſieme ſur l'étrave ; & la ſituation de ces trois points l'un par rapport à l'autre ſera toujours donnée.

La premiere des lignes courbes qui peuvent ſatisfaire au problême, eſt l'ellipſe conique ; nous nous contenterons d'expliquer ici la maniere de l'employer. Les trois points par leſquels il faut faire paſſer l'arc d'ellipſe ſont G, M & ζ, dans la figure 17. Les ordonnées GZ & Mz ſont égales, ou ſont ſuppoſées l'être, aux deux lignes marquées par les mêmes lettres dans la figure 11. La partie d'abſciſſe Zz eſt égale à la longueur de la quille en avant de la premiere coupe ; & la partie ζz eſt égale à la ſaillie de la proue au-deſſus de l'étrave. Je ſuppoſe que l'ellipſe dont GMζ (Fig. 17.) eſt un arc ſoit achevée, & je prolonge juſqu'à la rencontre de la courbe de l'autre côté les lignes Mz, GZ, ζZ. Le grand axe de cette ellipſe eſt AB, & ſon petit GF ; la ligne MH eſt parallele au grand axe de même que EK, deſorte que CK = CH. C'eſt une proprieté de l'ellipſe, connue de tous les Géometres, que le rectangle de ζZ par zD eſt au rectangle de GZ par ZF comme celui de ζz par ZD eſt à celui de Mz par zE. Le premier de ces rectangles eſt un quarré, puiſque les lignes ζZ & ZD ſont égales ; & le troiſieme rectangle de ζz par zD eſt égal, comme on le ſçait, au quarré de Zζ moins celui de Zz.

Ainſi la premiere analogie ſe change en celle-ci, $\overline{\zeta Z}^2 \mid GZ \times ZF \parallel \overline{\zeta Z}^2 - \overline{zZ}^2 \mid Mz \times zE$. Et comme la premiere raiſon ne ſera point changée, ſi on diviſe les deux termes par GZ, ni la ſeconde, ſi on diviſe ſon antécédent & ſon conſéquent par Mz, nous aurons cette autre proportion $\frac{\overline{\zeta Z}^2}{GZ} \mid ZF \parallel \frac{\overline{\zeta Z}^2 - \overline{zZ}^2}{Mz} \mid zE$; qui ſe change en cette autre $\frac{\overline{\zeta Z}^2}{GE} \mid \frac{\overline{\zeta Z}^2 - \overline{zZ}^2}{z} \parallel ZF \mid zE$; & en $\frac{\overline{\zeta Z}^2}{GZ} - \frac{\overline{\zeta Z}^2 + \overline{zZ}^2}{Mz} \mid \frac{\overline{\zeta Z}^2 - \overline{zZ}^2}{Mz} \parallel ZF - zE = KF = HG \mid zE$. Or les trois premiers termes de cette derniere proportion étant abſolument

connus, il ſera toujours facile d'en connoître le quatrieme zE, ou ZK, qu'on ajoutera à KF = GH & de plus à GZ, & on aura le petit axe GF de l'ellipſe.

Je crois qu'au lieu de chercher à conſtruire par lignes, quoique cela fût facile, l'analogie à laquelle nous venons de parvenir, il vaut toujours beaucoup mieux, dans la pratique, la réſoudre par le calcul; en meſurant ſur une échelle de parties égales la longueur des lignes qu'on connoît. Pour avoir le ſecond terme on prendra toujours l'exès du quarré de ζZ ſur le quarré de zZ qu'on diviſera par Mz; & pour avoir le premier terme, on ôtera le ſecond terme du quarré de ζZ qu'on diviſera par Gz. Le troiſieme terme ſera GH excès de GZ ſur Mz; & enfin on ajoutera le quatrieme terme à KF ou à HG & de plus à GZ pour avoir le petit axe. Suppoſé que ζZ ſoit de 600 parties; ζz de 100; GZ de 150, & Mz de 70; on aura pour les trois premiers termes de la proportion 828 $\frac{4}{7}$ | 1581 $\frac{3}{7}$ || 80; & le quatrieme terme ſera 151 $\frac{21}{29}$ qui étant augmenté de 80 pour KF & de 150 pour GZ, donnera 381 $\frac{21}{29}$ pour le petit axe & 190 $\frac{51}{58}$ pour ſa moitié CG. Il ne reſtera plus après cela pour tracer l'arc d'ellipſe, ſans s'éloigner des pratiques que ſçavent les Conſtructeurs, qu'à décrire un quart de cercle *cag* (Fig. 18.) qui ait ſon rayon de 190 $\frac{51}{58}$ parties; on fera *g*Z de 150, & on tirera Zζ parallelement à *ca*. Ce ſera l'arc de cercle *g*ζ dont il faudra former l'arc d'ellipſe; & ce dernier ne ſera autre choſe, que le premier dont les ordonnées ſeront ſeulement placées à plus de diſtance les unes des autres. En un mot il n'y aura qu'à diviſer ζZ en autant de parties égales qu'on ſe propoſe de diviſer ζZ dans la figure 17, & porter toutes les ordonnées de l'arc de cercle, vis-à-vis des points correſpondans de ζZ dans la figure 17. On pourra auſſi porter ces ordonnées ſur la portion ZG de la liſſe dans le plan repréſenté par la figure 10; & ſi on fait la même choſe pour toutes les autres liſſes, les courbes qui paſſeront par tous les points qui ſe répondent, marqueront le contour de chaque coupe.

CHAPITRE IX.

De la maniere de projetter les diverſes coupes du navire ſur toutes ſortes de Plans.

JUSQU'A préſent nous n'avons inſiſté que ſur la maniere de projetter tout le vaiſſeau ſur un plan vertical perpendiculaire à ſa longueur; parce que cette eſpece de projection ſuffit pour en faire connoître la figure, & pour mettre les Conſtructeurs en état de le bâtir. Si on veut projetter le navire ſur quelqu'autre plan que ce ſoit, il ſera toujours facile de déduire cette nouvelle projection de la premiere. Suppoſons qu'il s'agiſſe d'avoir la figure de toutes les liſſes ſur le plan vertical qui coupe le vaiſſeau ſelon ſa longueur par la moitié, & que la projection ſe faſſe toujours par des perpendiculaires abaiſſées de tous les points des liſſes ſur ce Plan vertical. Après avoir, dans la figure 19, repréſenté la quille avec l'étrave & l'étambot dans leur longueur & dans leur ſituation, on diviſera la quille en autant de parties égales qu'il y a d'intervalles entre les coupes que marque le plan de la figure 10. On tirera par tous les points de diviſion des lignes verticales, ou plutôt des lignes perpendiculaires à la quille & elle repréſenteront ces coupes vues d'une diſtance infinie dans la direction des baux. La verticale AD 1 repréſente, par exemple, la premiere coupe, ou celle qui eſt faite dans l'endroit le plus gros du vaiſſeau, & ND 2 celle de la proue, faite à l'extrémité de la quille. Prenant enſuite dans la figure 10, pourvu qu'elle ſoit faite ſur la même échelle, toutes les quantités dont les liſſes ſont élevées ſucceſſivement dans les différentes coupes au-deſſus de l'horiſontale B 2 B; prenant toutes les quantités, par exemple, dont la ſeconde liſſe moyenne G*m* eſt élevée dans les points G, 1, 2, 3, &c; il n'y aura qu'à les porter, dans la figure 19, perpendiculairement au-deſſus de

de la quille dans les coupes qui leur conviennent, & on aura tous les points G, 1, 2, 3, &c. par lesquels doit passer la projection requise de la lisse. On marque ordinairement dans ce même plan, ou l'on projette les différens ponts, de même que la *ligne d'eau*, ou la ligne jusqu'à laquelle le navire doit plonger dans la mer : c'est ce qu'on pourra exécuter aisément sur ce que nous avons dit dans le Chapitre III.

Il est principalement nécessaire de tirer la ligne d'eau, lorsqu'on veut avoir un troisieme plan qui représente le navire coupé par la surface même de la mer. On sçait que cette ligne n'est point parallele à la quille, & qu'elle doit s'élever d'autant plus vers l'arriere, que lorsque le navire est en mer, sa quille n'est point horisontale, & qu'il *cale* ou plonge davantage par l'arriere que par l'avant. C'est OQ cette ligne ; & on peut en tirer plusieurs autres paralleles au-dessous, si on veut avoir un grand nombre de coupes horisontales. Enfin on mesurera à quelle hauteur chacune de ces lignes coupe successivement les verticales qui représentent les coupes ; & prenant les largeurs de ces coupes précisément à ces hauteurs, dans la figure 10, on aura toutes les différentes largeurs que doit avoir la coupe horisontale dont on demande la forme. La figure 20 nous montre seulement la coupe horisontale faite à fleur d'eau. Pour trouver CL, on a mesuré la demie largeur de la premiere coupe AD2A de la figure 10, à une certaine hauteur au-dessus du point D, égale à la hauteur AD, prise dans la figure 19. Pour trouver également la demie largeur MN (Fig. 20.) on a mesuré celle de la coupe D*lmn* (Fig. 10.) à une hauteur, égale à D2ʒ (Fig. 19.) &c.

Ce sera presque la même chose, si le plan sur lequel on veut projetter le navire, n'est point parallele à la quille & qu'en même-tems il s'incline vers un des flancs, en faisant, par exemple, avec les baux un angle de 12 ou 13 degrés, qui est ordinairement la quantité dont le vaisseau s'incline le plus dans les routes obliques. La ligne tirée de l'avant à l'arriere, dans la figure 19, marquera toujours à

quelle hauteur il faudra examiner la largeur de chaque coupe verticale dans la figure 10. Mais au lieu de mesurer cette largeur sur une ligne horisontale, il faudra la mesurer sur une ligne inclinée de 12 ou 13 degrés par rapport à A2A, ou à B2B, & il faudra donc tirer une ligne oblique pour chaque largeur.

Ces derniers plans ne peuvent guere se faire qu'en petit, & il suffit de leur donner 2 ou 3 pieds de longueur pour les plus grands vaisseaux. Mais après qu'on a fait aussi le plan de la figure 10 de la même maniere, on ne peut pas se dispenser de le faire en grand, aussi-tôt qu'il s'agit de construire le navire. On cherche une surface plane assez grande, ou bien on se la fait, pour contenir au moins la moitié de la figure 10 dans ses vraies dimensions; & lorsque les principales couples sont tracées, on imite la courbure de chacune par des planches ressiées, larges de 8 ou 9 pouces, qu'on joint les unes au bout des autres, & qu'on taille exactement selon les contours. Ce sont ces planches ainsi disposées, & destinées à servir de regles ou de modeles pour chaque couple, qu'on nomme proprement *gabaris*; & les Charpentiers n'ont plus qu'à s'y conformer exactement, lorsqu'ils taillent les pieces de bois qui doivent former les membres.

CHAPITRE X.

Remarques sur la forme que les regles ordinaires donnent aux Vaisseaux.

IL seroit inutile d'insister davantage sur les moyens qu'ont les Constructeurs pour former la figure de leurs vaisseaux, ou pour tracer leurs gabaris. On peut consulter sur cela, si on veut, le Recueil manuscrit que nous avons déja cité plus d'une fois : mais il nous paroît que la pluralité des opérations, que ce grand nombre de diverses pratiques

pour divifer les liffes, que toutes ces différentes *réductions*, ne font que la marque d'une vraie difette. On n'a recours à différentes méthodes, que parce qu'on ne connoît pas la meilleure; & c'eft par cette même raifon qu'on eft d'avis fi différens fur toutes les autres proportions dont nous avons ordinairement marqué les limites. Il eût valu incomparablement mieux que fans fe permettre la plûpart de ces variations, on n'eût toujours fuivi qu'une feule pratique; & que changeant feulement quelqu'une de fes circonftances, on eût été extrémement attentif à remarquer les effets qui en réfultoient.

C'étoit le meilleur moyen de perfectionner l'Architecture navale par l'expérience, fi la chofe avoit été poffible; mais on voit affez que la pratique eft infuffifante en plufieurs cas. Il eft certain que fi elle eft feule capable de perfectionner certaines parties, elle a befoin, dans une infinité d'autres rencontres, d'être aidée des lumieres de la théorie. Comme ce n'eft que l'intention de trouver la vérité qui nous conduit dans nos recherches, nous marquerons toujours avec foin ce que les regles ordinaires ont de bon, & nous tâcherons même de l'autorifer par toutes les raifons qui fe préfenteront à nous; afin que ce foit comme autant de points arrêtés & mis à couvert de toute atteinte, dans les différentes corrections qu'on pourra entreprendre de faire par la fuite. A force d'effais on a, par exemple, affez bien trouvé en quel endroit de la quille il faut placer le maître gabari, ou l'endroit le plus gros de la carene; cependant fi on diminuoit le renflement de la proue, je crois qu'il faudroit reporter un peu plus vers l'avant cet endroit plus large, & ne le pas mettre aux $\frac{5}{11}$ de la quille, mais aux $\frac{5}{11}$ de la longueur même de la carene, ou encore un peu plus près de l'extrémité de la proue. Le maître gabari n'étant de cette forte jamais placé au milieu du navire, mais toujours plus vers l'avant, il fe trouve que la proue eft plus groffe que la poupe, & que la carene imite mieux la figure des poiffons; c'eft ce qui fait d'autant plus d'honneur à la pratique, que dans la Marine on ne fçait pas trop la raifon d'un ufage qui paroît fi extraordinaire.

Tous les lecteurs ont auſſi fait attention que les endroits les plus larges de chaque coupe vont en s'élevant vers l'avant & vers l'arriere, mais beaucoup plus vers l'arriere. On s'eſt mis dans la néceſſité de ſe ſoumettre en partie à cet uſage par cet autre dont nous avons déja parlé, & qu'on obſerve depuis long-tems, de faire toujours enfoncer davantage dans l'eau l'arriere du navire que l'avant, d'environ une ſixieme partie du creux. Comme la proue n'eſt pas plus faite pour fendre l'eau avec facilité, lorſque la quille eſt parfaitement de niveau, que lorſqu'elle eſt inclinée, car on ne ſçait pas quelle propriété on lui donne; on a ſans doute voulu éprouver, lorſque le navire a été en mer, de quelle maniere il ſingloit mieux; & ayant ſouvent remarqué qu'il falloit faire caler un peu davantage l'arriere, on s'en eſt fait une loi. Cette pratique eſt au moins toujours utile en cela, que l'arriere plongeant davantage dans l'eau, le navire doit mieux ſentir ſon gouvernail. On s'eſt mis auſſi par cet uſage dans la néceſſité de ne pas rendre les ponts paralleles à la quille, car ſi on leur donne ordinairement la même hauteur en avant que vers le milieu, on l'augmente toujours beaucoup vers l'arriere. En élevant le premier pont à meſure qu'il avance vers la poupe, ſa hauteur proche de l'étambot eſt d'environ une ſixieme partie plus grande que le creux, & moindre à peu près de la même quantité que la hauteur de l'endroit le plus gros ou le plus large. Cette ſituation du pont détermine celle des baux qui ſont deſtinés à le ſoutenir, comme nous l'avons dit, en même-tems qu'ils lient les deux flancs du navire l'un avec l'autre; & il ſuit de là qu'ils ne marquent point les plus grandes largeurs du vaiſſeau, ſi on excepte le premier.

Outre la raiſon qu'on vient de rapporter, il y en a encore une autre, à ce que je crois, qui invite autant à élever *le fort* du côté de la proue que du côté de la poupe, & qui eſt beaucoup plus importante; quoiqu'il n'y ait pas d'apparence qu'on y ait fait une attention expreſſe. Lorſqu'on met vers la proue & vers la poupe la plus grande

largeur de chaque coupe à une plus grande hauteur, on fait enforte dans les routes obliques & lorfque le navire s'incline beaucoup; que la partie de la carene plongée dans l'eau du côté oppofé à l'inclinaifon, perde beaucoup de fon renflement, & que de l'autre côté la partie fumergée en acquerre au contraire un très-confidérable. Le navire déplace donc beaucoup plus d'eau du côté de fon inclinaifon; & il doit, conformément à la maniere dont les fluides agiffent, en être foutenu avec plus de force, & devenir par conféquent plus capable de porter la voile. C'eft ce que nous tâcherons d'éclaircir davantage par la fuite. Mais on voit déja affez qu'en élevant de cette forte les plus grandes largeurs de la carene, on les met, pour ainfi dire, en réferve pour fervir au befoin (lorfque le vaiffeau s'inclinera), & pour fervir précifément du côté qu'il fera néceffaire. Nous pouvons auffi reconnoître que cette difpofition eft moins importante dans les navires qu'on fait plus plats par-deffous, & qui doivent être chargés par en bas d'un plus grand poids. Car ces bâtimens, par la feule pefanteur de leur charge, ou de leur left, doivent déja mieux foutenir la voile.

Au refte, quoique nous ne condamnions pas abfolument l'ufage où l'on eft de faire plus plonger dans l'eau l'arriere que l'avant du navire, nous ne fçaurions cependant approuver aucune des regles dont fe fervent les Conftructeurs pour déterminer la différence de ces deux divers enfoncemens. On pourroit conftruire un navire exprès pour ne *caler* ou enfoncer dans l'eau que jufqu'à un certain terme, & on y réuffira, auffi-tôt que la conftruction fera fondée fur de vrais principes. Mais quand un navire n'eft pas plus fait pour un certain enfoncement précis, que pour un autre, de même que tous les vaiffeaux qu'on a conftruit jufques à préfent; c'eft une queftion très-difficile, & une des plus compliquées de toute l'Architecture navale, que de déterminer le terme exact jufqu'auquel on doit le faire plonger. On croiroit peut-être qu'il ne s'agit que de faire caler le navire de maniere qu'il acquerre le plus de force

qu'il est possible, pour soutenir la voile; mais l'enfoncement trop grand feroit augmenter considérablement la résistance que feroit l'eau au mouvement du sillage, & la rapidité de la marche diminueroit. Il ne s'agit pas non plus de trouver absolument la partie de la carene qui éprouve une moindre résistance. Car le vaisseau n'enfonçant que peu dans l'eau, on ne pourroit lui donner que peu de mâture, pour ne pas s'exposer au plus grand péril ; on perdroit toujours trop du côté de la force du vent, ou de la quantité des voiles, & le navire iroit encore moins vite. Il s'agit donc de rendre la résistance de l'eau la moindre qu'il se peut, non pas absolument, mais rélativement, ou eu égard à l'étendue qu'on peut donner aux voiles ; & on entrevoit déja qu'il faut, pour résoudre ce Problême, se livrer à un examen aussi long que penible ; entrer dans le détail de toutes les courbures de la carene, pour juger quelle sera la résistance que doit éprouver la proue, selon qu'elle est plus ou moins plongée ; & discuter en même-tems la distribution & la pesanteur de toutes les parties du navire, afin de sçavoir la force qu'il aura dans chaque cas, pour soutenir l'effort du vent. Après cela nous ne sommes que trop en droit de conseiller aux Marins de faire de fréquentes expériences sur la situation, ou sur *l'assiette* de leur navire; car nous n'avons à leur proposer qu'une soulution très-compliquée * du problême dont il s'agit, qu'on ne peut résoudre que par médiation; au moins lorsqu'on veut porter la discussion jusques dans les cas particuliers. Il est vrai que les Constructeurs qui ne veulent point être arrêtés par des difficultés capables de tenir indécis les Mathématiciens les plus habiles, croyent pouvoir s'en tirer d'une autre maniere. Plusieurs d'entr'eux prétendent qu'il faut examiner lorsqu'on lance le vaisseau à l'eau, la situation qu'il prend de lui-même, & faire ensuite ensorte, quand il est achevé, qu'il est lesté & entierement équipé, qu'il se trouve encore la même différence entre ses enfoncemens de l'arriere & de l'avant. Le lecteur ne peut que nous plaindre de nous voir obligés de réfuter sérieusement de pareilles maximes ;

* Voyez le chap. VI. de la section IV. du troisieme Livre.

car il n'y a pas le moindre rapport entre ces deux états dans lesquels les Constructeurs comparent leur navire. Si la carene a la propriété de naviger avec la plus grande vitesse, lorsqu'elle entre entierement dans l'eau, elle ne doit pas l'avoir également lorsqu'elle n'entre que jusqu'à la moitié, ou jusqu'au tiers de sa profondeur. On sçait d'ailleurs qu'il dépend du Constructeur qui veut mettre un vaisseau à la mer, de l'achever plus ou moins, & de faire qu'il enfonce diversement par une extrémité ou par l'autre. Ainsi ce moyen proposé mistérieusement par les gens du métier, & reçu avec trop de respect par beaucoup de *Marins*, ne sert qu'à nous confirmer dans le jugement que nous sçavions déja qu'il faut porter de la plûpart de leurs autres regles.

Mais si les maximes ordinaires doivent se trouver imparfaites, c'est principalement dans la figure même qu'on donne au corps du navire; car il étoit impossible qu'on pût découvrir par la pratique seule, & par des essais, quelques réitérés qu'ils fussent, les particularités d'une surface courbe entiere, qui est un assemblage d'une infinité de lignes courbes & de points. Il ne faut donc pas douter que ce ne soit ici où la construction a principalement besoin d'être reformée. En général la proue est trop renflée, & les lisses par le moyen desquelles on la forme, ont toujours trop de convexité. On a bien senti dans la Marine que cette partie ne devoit pas être trop aigue : mais on n'a pas reconnu qu'il suffisoit de porter la plus grande largeur du navire plus vers l'avant, pour procurer cette plus grande grosseur, sans qu'il fût nécessaire de l'augmenter encore par la courbure excessive des côtés. Il se peut faire que par des considérations particulieres, on ne puisse pas suivre rigoureusement en cela tous les préceptes de la théorie ; mais il est au moins toujours avantageux de les sçavoir, afin d'avoir en vue le point de perfection, dans le tems même qu'on ne peut pas y atteindre, & qu'on est obligé de s'arrêter en deça.

CHAPITRE XI.

Suite du Chapitre précédent, avec la maniere de rendre la figure des Vaisseaux plus parfaite.

I.

SI on se contentoit de faire consister *les façons*, ou les diminutions de grosseurs du vaisseau, dans le seul retrecissement de ses varangues, sans lui donner d'acculement, en faisant, pour ainsi dire, traîner sa proue sur la quille jusqu'à son extrémité, il faudroit, comme nous le démontrerons dans le troisieme livre, rendre les lisses des lignes parfaitement droites. Ainsi, si la premiere coupe étoit un rectangle, la proue seroit formée seulement par deux plans verticaux, qui en se rencontrant feroient un angle aigu à l'extrémité de l'avant, & la proue seroit terminée par une arête verticale formée par l'intersection des deux plans. La figure 21 représente cette proue qui n'est composée que de surfaces planes, & dans laquelle les lisses CA, ED, &c. ne peuvent pas manquer d'être des lignes droites.

Mais si on donne de l'acculement aux varangues, ou qu'on détache entierement la proue de la quille, comme dans la figure 22, l'arête verticale AD de l'extrémité se racourcit par en bas de toute la quantité de l'acculement DF; & alors la proue, comme on le verra aussi dans le troisieme livre, ne doit plus être formée par des surfaces planes. Les lisses doivent être courbes, & elles doivent l'être davantage lorsqu'on éleve le point D, ou qu'on augmente *les façons* DF; en même-tems que la figure qui étoit déja plus avantageuse, le devient encore plus, & approche du *maximum maximorum*, dans lequel réside le dernier point de perfection. Arrivée à ce terme, la proue a la figure d'une espece de demi-conoïde irregulier, dont la base, au lieu d'être circulaire, est un rectangle, & ce conoïde peut trouver un cinquieme ou un quart plus de facilité à fendre l'eau que la proue de la figure 21, dont l'étrave n'a point d'élancement. Mais

ce

ce qui eſt principalement digne de remarque, c'eſt que vu les dimenſions qu'on donne ordinairement aux vaiſſeaux, il arrive toûjours, lorſque l'acculement vers l'avant eſt le plus grand qu'il eſt poſſible, ou lorſque toute l'arête verticale de l'extrémité eſt diſparue, & que la proue a enfin acquis l'état le plus avantageux de tous, que les liſſes qui ſont auſſi parvenues à leur plus grande courbure, ne ſont pas encore ſi courbées que l'eſt un arc de cercle de 18 ou 20 degrés; ou ce qui revient au même, qu'elles différent encore ſi peu de la ligne droite, qu'elles ne s'en éloignent pas vers le milieu de la vingt ou vingt-deuxieme partie de leur longueur. Suppoſé ce que nous diſons, il s'en faut donc extrêmement que les Conſtructeurs, malgré leurs différentes tentatives, ayent rencontré la vraye figure de la proue, dont il faut retrancher preſque tout le renflement. Ils étoient auſſi fort éloignés de connoître cette regle qui peut leur devenir très-utile, & qu'on peut regarder comme un ſecret de Conſtruction; *que moins on donne d'acculement ou de façons* FD (Fig. 22.) *aux varangues vers l'avant, plus on doit rendre droites toutes les liſſes* CA, ED, *&c.*

Les choſes que nous avançons dépendent d'une théorie trop compliquée pour que nous puiſſions actuellement en faire entrevoir les raiſons, nous le ferons dans la ſuite; il ſuffit ici, où il ne s'agit que de pratique, de ne rien dire qui ne ſoit parfaitement démontré *. Nous joindrons auſſi quelques tables vers la fin du troiſieme livre, par le moyen deſquelles on pourra donner à la proue la figure la plus exacte, quand on le voudra. Mais il n'y a preſque point à s'y tromper, auſſi-tôt qu'on ſçait que les deux termes entre leſquels doit être la courbure ſont extrêmement voiſins l'un de l'autre; qu'il faut rendre les liſſes ou parfaitement droites, comme dans la figure 21, ou leur donner à peine la courbure d'un arc de 18 ou 20 degrés, comme dans la figure 22. On leur donnera à-peu-près cette derniere courbure, nous le repetons, quand on voudra augmenter l'acculement, ou donner à la proue plus *de façons*; au lieu qu'on

* Voyez le chap. 4. de la ſection 5, du Livre III.

rendra les lisses presque droites quand on voudra diminuer l'acculement DF. On peut, par cela seul, sans s'attacher scrupuleusement aux regles précises que prescrit la spéculation, en retirer sensiblement tout le fruit. Il n'y a qu'à conserver, si on le veut, au maître gabari sa figure ordinaire, quoiqu'il soit toujours avantageux pour la marche d'en diminuer les dimensions, & souvent de le retrecir par en bas. On gagneroit extrêmement du côté de la promptitude du sillage, de ne donner de largeur à cette coupe que la cinquieme ou la sixieme partie de la longueur du navire, en même-tems qu'on diminueroit le creux à proportion. C'est ce que nous démontrerons dans la suite avec la plus grande évidence ; & nous ferons même voir cette singularité très-étonnante, qu'il ne seroit pas impossible, en diminuant ces deux dimensions, ou bien en augmentant la longueur, de faire aller un navire quelquefois aussi vite que le vent *. Nous revenons aux lisses ausquelles on pourra donner, si on le veut, toujours la même situation ; c'est-à-dire, qu'elles peuvent se terminer sur l'étrave à des distances égales les unes des autres, & partager aussi également le contour du maître gabari, en commençant aux extrémités du plat de la varangue. Soit qu'on leur fasse imiter ensuite la courbure d'un arc de cercle, ou celle d'un arc d'ellipse, &c. il suffira de n'écarter cette courbure du milieu de la ligne droite qui lui sert de corde, que d'une vingt-cinquieme, ou d'une trentieme partie de sa longueur totale; & rien n'empêche de suivre dans cette opération la méthode *des reductions*, ou l'emprunt que font ordinairement les Constructeurs, des ordonnées d'une courbe pour en tracer plus aisément une autre.

* Voyez le Chap. VIII. de la Section IV. du Livre III.

II.

Ainsi il sera toujours facile de donner, à très-peu près, à la proue la forme qu'elle doit avoir. Après avoir tracé la premiere coupe AD2A (Fig. 23.) & avoir tracé les projections AW, GZ, &c. des lisses, on prendra la longueur d'une de ces projections, par exemple, de celle WA de la lisse *du fort*, on tirera une droite WA (Fig. 24.)

Fig. 23 & 24.

Fig. 23 & 24.

de cette même longueur, à l'extrémité W de laquelle on élevera une perpendiculaire Wv ; & prenant un point v, à volonté ſur cette ſeconde ligne, qu'on pourra faire égale à la premiere, on tirera la droite vA, au milieu de laquelle on élevera une perpendiculaire BC, qui ne ſeroit que ſa vingt-cinquieme ou trentieme partie, ſi la ligne vA étoit de même longueur que la liſſe même ; mais comme elle ſera plus courte, on fera BC de ſa dixieme ou douzieme partie. On fera paſſer enſuite un arc de cercle ACv, par les trois points A, C & v, & diviſant Wv en autant de parties égales qu'on veut diviſer la longueur de la proue, ou qu'on ſe propoſe de trouver la figure de différentes coupes en avant du maître gabari, on tracera par tous les points de diviſion D, E, G, &c. des paralleles à WA juſqu'à la rencontre de l'arc vA, & tranſportant ces paralleles ſur WA ; cette derniere ligne ſe trouvera diviſée comme le doit être la projection WA, de la liſſe dans la figure 23, pour que la liſſe ſoit un arc (d'ellipſe) très-peu courbé.

Il n'y aura pas plus de difficulté pour les autres liſſes. Il faudra ſeulement faire attention que la longueur de la proue étant moins grande dans leur plan que dans celui de la liſſe du fort, cette longueur ne ſera pas repréſentée par Wv, mais par une droite RQ, moins longue. S'il eſt queſtion, par exemple, de la premiere liſſe moyenne dont & F (Fig. 23.) eſt la projection, il faut que QR (Fig. 24.) ſoit à vW, comme && 3 (Fig. 11.) eſt à vW, ou comme la diſtance du point & (dans la figure 19.) à la verticale AD1, eſt à la diſtance du point v à la même verticale. Enfin ſi par hazard RA ſe trouvoit égale à la projection de la liſſe moyenne dont il s'agit actuellement, il n'y auroit qu'à tranſporter R1, R2, R3, &c. ſur la projection même pour trouver les points de diviſion ; mais en général, il faudra d'un point K, pris à volonté ſur le prolongement de vW, tirer des lignes droites à tous les points, 1, 2, 3 ; &c. & portant en &F la longueur de la projection de la liſſe, elle ſe trouvera diviſée proportionnellement à RA. On fera la même choſe pour toutes les autres, & rien n'empêchera

ensuite de tracer le contour de toutes les coupes qu'on vouloit avoir.

Au lieu d'élever la perpendiculaire BC, au milieu de *v*A, (Fig. 24.) on peut l'élever au tiers de cette ligne, en faisant AB double de B*v*. Il faudra alors former l'arc AC*v* de deux arcs de cercles différens qui viendront se toucher en C, & qui auront par conséquent leurs centres sur la perpendiculaire CB, prolongée autant qu'il sera nécessaire. On suivra le reste de l'opération dans toutes ses circonstances : mais on imitera beaucoup mieux de cette sorte la courbure qui est la plus propre à fendre l'eau.

Ce sera à-peu-près la même chose de la poupe ; les lisses doivent être aussi presque doites, & on ne doit gueres les en détourner par le milieu, que d'une vingtieme ou vingt-cinquieme partie de leur longueur. Ainsi tout le navire doit presque prendre la figure de deux demi-cônes (Fig. 25.) joints par leurs bases, & *les façons* doivent être telles qu'elles commencent subitement dès l'endroit le plus gros, où la proue & la poupe se séparent ; & ce doit être, comme je l'ai déja dit, aux $\frac{1}{12}$ de la longueur totale, à commencer de l'extrémité B de la proue : au lieu que dans la fabrique qui est actuellement en usage, le corps même de la carene est sensiblement de même grosseur dans un grand espace, & se trouve en même-tems comme attaché à la quille. On ne cherchera point malgré tout cela à disculper la Géometrie, de la figure étrange qu'elle paroît donner aux vaisseaux ; ce sera aux Marins à s'y accoutumer. Cependant il est des raisons particulieres qui autorisent à alterer un peu cette figure : les abordages seroient, par exemple, extrêmement dangereux, si on laissoit l'arrête EFD, sans l'adoucir ; ainsi il ne faut pas manquer de l'émousser. Quoique la partie AFG qui s'étend, pour ainsi dire, à une si grande distance du navire, paroisse désormais inutile, on ne peut pas néanmoins la retrancher, parce qu'il faut nécessairement attacher toujours le gouvernail à l'étambot GA. A l'égard de la partie BCF, on pourroit plutôt la supprimer, si on pouvoit le faire sans

diminuer la ſolidité avec laquelle tous les membres doivent être liés pour faire un corps, & ſi une autre raiſon fort importante n'invitoit pas encore à ne pas la retrancher. C'eſt que cette partie contribue beaucoup dans les routes obliques à faire que le navire *derive* moins, ou que ſa route s'éloigne d'une moindre quantité de la direction de ſon axe. Il eſt vrai qu'elle nuit en même-tems à la facilité que doit avoir le vaiſſeau de tourner, lorſqu'il s'agit de faire quelque évolution, & qu'elle le rend *ravier*, c'eſt-à-dire trop diſpoſé à préſenter ſa proue au vent ; mais il n'y a qu'à multiplier les voiles de l'avant, ou les faire plus grandes, pour s'oppoſer à cet effet : de cette ſorte on réunira tous les avantages, ſans s'expoſer à aucun inconvenient.

Il faut remarquer, que comme un pareil navire feroit formé pour naviger lorſque ſa quille eſt parallele à la ſurface de la mer, il n'y auroit rien à gagner de faire plus plonger ſon arriere que ſon avant : la réſiſtance que trouveroit la proue à fendre l'eau ne changeroit pas d'une quantité ſenſible. D'un autre côté le gouvernail ne peut pas manquer de produire ici ſon effet, à cauſe de la facilité que doit avoir l'eau à le frapper avec toute ſa force. Auſſi-tôt que la poupe ne doit pas plus enfoncer dans l'eau que la proue, rien n'empêche de rendre les ponts paralleles à la quille, & il eſt également évident qu'on ne doit plus mettre à une ſi grande hauteur la liſſe d'hourdy, ou l'endroit le plus large de la poupe ; il ſuffira de rendre cette hauteur plus grande que le creux d'une huitieme ou neuvieme partie.

III.

Au ſurplus, tout ce que nous venons de dire convient principalement aux fregates & à tous les navires dont il s'agit de rendre le ſillage rapide, lorſqu'ils navigent dans une belle mer, ſans qu'il ſoit queſtion de les rendre capables de porter un grand poids. Mais ſi l'on a des raiſons pour donner à la carene une plus grande capacité, ou ſi on veut que le navire ſoit capable de ſoutenir pluſieurs ponts &

une artillerie considérable, si on veut éviter le tangage, il n'y aura qu'à employer la proue représentée dans la figure 26, en même-tems qu'on élargira un peu toute la carene.

Fig. 26. La proue de la figure 26 ne répond à nos idées que d'une maniere générale : nous supposons assez d'adresse aux Constructeurs pour pouvoir adoucir tous les angles & toutes les arêtes de cette figure. Si l'on donnoit le plus *de façons* qu'il est possible à cette proue, les lignes courbes qui en la formant viendroient se terminer à son extrémité A, ne seroient pas encore plus courbes que des arcs de cercle de 18 ou 20 degrés. Mais en diminuant les *façons*, & en rendant horisontale leur lisse ED, cette lisse deviendra parfaitement droite, conformément à ce que nous avons dit ci-devant: les autres lisses comme CM, seront également droites, & paralleles à la premiere dans toute la partie interceptée entre les plans BFEC & NDM; mais la saillie de l'étrave AD, jointe à l'inclinaison des flancs de la premiere coupe BFEC, sera cause qu'il faudra ensuite courber les lisses d'en-haut pour fermer la proue. La surface DMCE, seroit plane si le côté EC du maître gabari étoit une ligne droite: au lieu qu'elle sera comme cilindrique, à cause de la courbure ordinaire de EC; & dans tous les cas, DM sera parfaitement égal à EC. Lorsque le plat EF de la maîtresse varangue sera la moitié de la longueur BC du bau, la demie largeur LM, qui est égale à HC, sera la moitié de GC. Ainsi la proue aura au-dessus de l'extrémité D de la quille, une largeur NM égale à la moitié de la plus grande largeur BC de la carene.

Il n'est pas nécessaire d'insister sur la maniere de tracer alors les coupes. On voit bien que chacune, comme PRST, sera formée de deux parties parfaitement égales à celles BFK & HEC de la premiere; mais rapprochées l'une de l'autre. La distance RS à laquelle il faudra les mettre, sera le plat de chaque varangue; & ce plat diminuera en même raison que la distance à l'extrémité D du corps de la carene. A l'égard de la partie ANMD, on pourra la former en pro-

longeant chaque liſſe comme CM par un arc de cercle AM, qui ait pour tangente en M la partie rectiligne CM de la liſſe ; ce qui fera que la liſſe entiere CMA aura dans ſa totalité une plus grande courbure, laquelle ſeroit encore augmentée, ſi on rendoit le plat FE de la maîtreſſe varangue plus petit ; puiſque HC deviendroit plus grande, & que LM eſt égale à HC. Cette proue, qu'il ſuffit ſimplement d'imiter en empruntant ſes principales particularités, ou en ſe conformant au total de ſa forme, doit trouver plus de difficulté à fendre l'eau, que celle que nous avons montré à former dans l'article précédent : mais les grandes largeurs qu'elle conſerve par en haut depuis la premiere coupe BIC, juſqu'au-deſſus de l'extrémité de la quille, font au moins qu'elle eſt très-capable de ſoutenir l'effort de la voile.

Cette forme du navire le rendra auſſi plus capable de réſiſter aux mouvemens de la mer qui produiſent le *tangage*, ou ces balancemens auſſi dangereux qu'incommodes qui ſe font dans le ſens de la longueur. La mer dans ſon agitation vient frapper une des extrémités du navire & la fait s'élever. Alors l'autre extrémité eſt obligée de plonger dans l'eau, & elle continue à s'enfoncer juſqu'à ce qu'elle ſoit arrêtée par la réſiſtance de l'eau, ou par le poids du volume qu'elle déplace. D'autres fois le navire n'eſt pas choqué, c'eſt ſimplement la mer qui perd en partie ſon niveau par l'agitation de ſes ondes. La mer ſe ſouſtrait tout d'un coup de deſſous la proue, ou la poupe ; & il faut donc abſolument que cette partie du navire retombe pour ſe trouver ſoutenue. Ce mouvement violent du vaiſſeau peut cauſer la rupture des mâts, & fait toujours tort à la promptitude de la marche dont il interrompt une partie. Il eſt évident qu'on ne peut éviter tous ces accidens, ou au moins les diminuer, qu'en groſſiſſant un peu les deux extrémités de la carene, ou qu'en ne leur donnant pas de ſi grandes façons par-deſſous. Il faut conſulter l'expérience ſur cela, puiſqu'il s'agit d'accommoder la figure des vaiſſeaux à l'uſage particulier qu'on ſe propoſe d'en faire, ou

à la nature des voyages qu'on veut entreprendre. Mais souvenons-nous toujours qu'il est démontré, que lorsqu'on n'a en vue que la seule promptitude du sillage, & qu'on ne veut traverser que des mers tranquilles, comme l'est, par exemple, la mer Méditeranée pendant nos plus belles saisons, le navire ne doit differer que très-peu de deux cônes joints par leur base.

Enfin, si le renflement qu'on vient de procurer à la carene ne suffisoit pas encore, on pourroit donner au navire exactement la même grosseur dans un espace considérable, qui fût la cinquieme, ou le quart, ou tout au plus le tiers de toute sa longueur, & on n'observeroit les regles qu'on vient de prescrire qu'à l'égard des parties de la carene qui seroient vers l'avant & vers l'arriere, & qu'on destineroit à servir de proue & de poupe. Il me paroît seulement que comme la capacité de la cale seroit après cela assez grande, il vaudroit mieux donner ensuite plus de façons à l'avant, ou le faire terminer plus en pointe, afin de ne pas tant perdre du côté du sillage. Cette derniere attention seroit principalement observée dans les navires de guerre, pour lesquels on ne feroit aussi cette partie de la carene, qui conserve la même grosseur vers le milieu, que la moins longue qu'on pourroit.

Si au lieu des bâtimens ordinaires de transport on veut construire une flute, il n'y aura qu'à prendre pour modele la figure d'un parallelipipede rectangle, mais qu'on alterera en formant la proue & la poupe par deux plans inclinés; l'un panché en avant pour la proue, & l'autre en arriere pour la poupe. On aura toujours le soin de conserver les deux parties que représentent BCF & FGA, dans la figure 25, non-seulement parce qu'elles servent à fortifier la proue & la poupe, mais encore plus à cause des autres usages que nous leur avons déja attribué. Enfin on observera à-peu-près ces proportions, si la longueur totale du navire est de 144 parties, d'en donner environ 44 à la proue, ou à la saillie du plan incliné qui la termine, 32 au corps même de la carene qui conserve la même grosseur, &

& 68 à la poupe. Cette flûte, dont il n'y aura qu'à émousser les angles, aura la forme la plus parfaite de toutes, comme on le verra dans la derniere section du Livre III. * Il paroît outre cela que la grande longueur de ses flancs, qui sont parfaitement droits, seroit très-propre à recevoir de l'artillerie, ce qui pourroit la rendre utile pour la guerre.

* Voyez l'article 3 du Chap. 9.

CHAPITRE XII.

De la maniere de mettre les navires à l'eau, & le moyen de reconnoître s'ils se courbent dans le sens de leur longueur par l'effort qu'ils souffrent dans ce mouvement.

I.

ON n'attend pas, pour mettre un navire à l'eau, qu'il soit entierement construit; sa pesanteur, qui se trouveroit plus grande, rendroit beaucoup plus difficile cette opération qui ne l'est déja que trop. On n'a pas dans tous les Ports de ces bassins peut étendus qu'on nomme *formes*, dans lesquels on pourroit, non-seulement achever un navire, mais & l'armer & l'équiper; & où il ne resteroit plus, pour le mettre à flot, qu'à ouvrir les portes, lorsque la mer est haute. Outre que dans nos Ports nous avons trop peu de *formes*, & que quand on en a fait deux ou trois dans le même, on les a placées mal à-propos à l'extrémité les unes des autres, ce qui empêche souvent que chacune puisse servir à part; on les réserve ordinairement pour les *radoubs*, c'est-à-dire, pour faire les réparations, soit aux bordages, soit aux membres, dont les navires n'ont besoin que trop souvent.

On construit donc presque toujours les vaisseaux sur les quais; mais on a soin de rendre incliné le Plan sur le quel on les bâtit, afin de pouvoir ensuite les faire glisser

plus aisément jusqu'à l'eau, dont il ne sont jamais forts éloignés. On donne souvent six lignes d'inclinaison au Plan, sur chaque pied de longueur, de sorte qu'il fait toujours avec l'horison un angle d'environ 2 $\frac{1}{3}$ degrés, à moins qu'on ne soit obligé de changer un peu cette pente, à cause des circonstances du lieu. Le *chantier* sur lequel on construit le navire, est formé de poutres placées en travers, ou placées perpendiculairement à la quille. Ces poutres se nomment *tins*, & la quille, au lieu de porter immédiatement dessus, est élevée, pour la commodité des ouvriers, & aussi pour les raisons qu'on verra dans la suite, sur plusieurs billots ou coins situés sur les *tins* de distance en distance. Le plan que forment les tins étant incliné du côté de la mer, la quille n'est point horisontale, elle a la même inclinaison que le chantier; & on met la proue ordinairement du côté de l'eau.

On commence par poser la quille, & à mesure qu'on place chaque membre au-dessus, ou même l'étambot & l'étrave, on a le soin de le soutenir toujours par des *accores* qui sont des pieces de bois qui servent d'arc-boutans; & ce sont ces mêmes *accores* qui empêchent le navire de tomber d'un côté ou d'autre, pendant qu'on le construit. On pousse l'ouvrage au moins jusques au premier pont, on *borde* la carene, ou on la revêtit de ses bordages; & l'on borde aussi le premier pont, qui est soutenu de tous ses baux. Souvent les autres ponts ne sont point encore commencés; mais il est absolument nécessaire que le premier soit achevé, pour éviter differens accidens; & pour rendre sur-tout le navire plus capable de soutenir le mouvement auquel on va l'exposer.

On prolonge le chantier jusqu'à l'eau, en mettant au-devant du navire, perpendiculairement à sa longueur, d'autres poutres, d'autres tins qui forment un plan toujours également incliné, & on met au-dessus, au milieu, une suite de forts madriers pour servir de chemin à la quille, qui est retenue par de longues tringles paralleles, lesquelles forment comme une coulisse. Le vaisseau, pendant

qu'il glisse sur sa quille, n'étant plus soutenu par ses accores tomberoit infailliblement sur l'un ou l'autre flanc, si on ne l'en empêchoit de chaque côté par de longues poutres situées parallelement dans le sens de sa longueur entre lesquelles il se meut, & qui étant éloignées les unes des autres à-peu-près de sa demi-largeur, répondent de chaque côté vers l'extrémité du plat de la maîtresse varangue. Ces poutres s'étendent jusqu'à l'eau tout le long du chantier ou du *berceau* auquel elles sont bien arrêtées, & on les nomme, à cause de leur longueur, *anguilles* dans certains Ports ; mais le nom qu'on leur donne plus souvent est celui de *couettes*. Elles ne sont jamais assez hautes pour parvenir jusqu'à la carene du navire, quoiqu'elles soient fort avancées dessous ; mais on attache fortement au navire même, des deux côtés, deux autres pieces de bois qu'on nomme ordinairement *dragues* dans le Ponant, & *colombiers* dans le Levant, qui portent ou s'appuyent sur les couettes & qui peuvent glisser dessus. Après que le tout est ainsi disposé, on a toujours le soin de renouveller les coins. On ôte à coups de massues les anciens qui s'étoient comme collés avec les tins & avec la quille, & qui s'y étoient engagés par l'impression causée par le grand poids dont ils étoient chargés ; & à mesure qu'on les ôte, on leur en substitue de nouveaux.

Les navires qu'on veut lancer à l'eau de cette maniere, sont toujours soutenus en trois endroits, sous la quille & des deux côtés, par les *couettes* & par les *dragues* : mais il y a eu des Constructeurs qui ne les faisoient porter qu'en ces deux derniers endroits. Ils ôtoient les anciens coins sans en mettre de nouveaux ; la quille se trouvoit en l'air, & tout le poids du navire, dans tout le chemin qu'il faisoit pour parvenir jusqu'à l'eau, se distribuoit entre les deux couettes. La premiere maniere me paroît beaucoup plus sûre ; le corps du navire travaille moins. A l'égard du frottement, il doit être sensiblement le même ; on doit avoir toujours la même difficulté ou la même résistance à vaincre ; car qu'un corps pesant ne s'appuye que sur deux points, il s'appuye

davantage ſur chacun, & le frottement eſt plus grand ; au lieu que lorſqu'il porte ſur trois, il s'appuye moins ſur chacun, le frottement en chaque endroit eſt plus petit ; mais la ſomme des trois frottemens dans le dernier cas eſt égale à la ſomme des deux frottemens dans le premier. Quoi qu'il en ſoit, on n'oublie jamais, afin de faciliter le mouvement, de frotter les couettes avec du ſuif, de même que le chemin de la quille, lorſqu'il eſt néceſſaire. On examine ſi tout le long du chantier, ou du *berceau*, il n'y a rien qui puiſſe faire obſtacle ; s'il n'y a pas la moindre pointe de clou, &c. Enfin on ôte les *accores* des côtés, & le navire n'eſt plus arrêté par l'avant que par la ſeule accore qui s'appuye contre l'étrave & qu'on nomme la *ſoûbarbe* ; & outre cela par un bout de cable qui le retient de l'arriere, & qui eſt appliqué à une ancre à demi-enterrée.

Si toutes les précautions ont été bien priſes, & ſi la pente du berceau eſt telle que je l'ai dite, il ſuffit après avoir coupé le bout du cable *de retenue* dont je viens de parler de faire ſauter la *ſoûbarbe*, cette piece de bois qui s'oppoſe au mouvement du navire, en s'arc-boutant contre l'étrave. Le vaiſſeau en s'ébranlant part avec une lenteur qui permettroit d'abord de lui croiſer le chemin pluſieurs fois ; mais ſa vîteſſe s'accelerant par degrés, il va bientôt avec tant de rapidité, qu'il n'y a plus rien capable de l'arrêter, & que le feu prend au chantier. Pour faire ſauter la ſoûbarbe, on peut la frapper avec une maſſue ; & le Charpentier, s'il ne manque pas de tête, a tout le tems ou de fuir, ou de ſe jetter entre les tins ; mais il vaut beaucoup mieux ſe ſervir d'un long *belier* dont on aſſure les coups de loin, en le maintenant dans une eſpece de canal. La ſoûbarbe en tombant & en reſtant ſur la route du vaiſſeau, cauſeroit quelque accident, mais elle eſt attachée à une corde ; & pluſieurs ouvriers, qui ſont toujours dans le navire, ont le ſoin de la tirer promptement en haut. A l'extrémité de l'arriere, au talon, il y a pluſieurs leviers tous diſpoſés, de longues ſolives de 25 ou 30 pieds dont on engage le bout ſous la quille, & qui ſervent, non pas à

pousser le vaisseau, mais à lui causer quelque agitation, supposé qu'il ne parte pas assez vîte. On y attache aussi, ou on y *amarre*, pour parler comme les Marins, plusieurs cordages qui vont se rendre à des roues ou à des cabestans où il y a du monde tout prêt à agir. La moindre chose, comme je l'ai déja dit, un seul gravier peut arrêter le premier mouvement, & rendre inutiles les efforts de plusieurs centaines de personnes, qui s'aident de différentes machines; le Constructeur au desespoir ne sçait quelquefois à quoi s'en prendre. Mais après que le mouvement s'est une fois acceleré, on n'a plus de pareils obstacles à craindre; il n'est plus question que d'arrêter la trop grande vîtesse, avec laquelle le navire iroit souvent se briser de l'autre côté du Port.

On se sert pour empêcher cet accident de plusieurs cordages de *retenue*; & comme on sçait par expérience que les plus gros cables n'auroient pas assez de force, on met plusieurs cordages plus courts qu'on veut bien qui se rompent, pour détruire le premier effort. On ployе aussi quelquefois ces cordages, & on attache leurs plis avec différentes autres cordes qui doivent se casser successivement. Il y a bien à prendre garde pour les ouvriers & pour les spectateurs, pendant la rupture de toutes ces cordes; car elles donnent comme des coups de fouets, qui ont souvent tué ou blessé plusieurs personnes. On peut, pour éteindre plus promptement le mouvement du vaisseau, tenir aussi vers le haut de la poupe diverses pieces de bois attachées, & les laisser tomber dans l'eau l'une après l'autre, à *la traîne* du navire.

II.

De la courbure que les vaisseaux souffrent dans le sens de leur longueur lorsqu'on les lance à la mer.

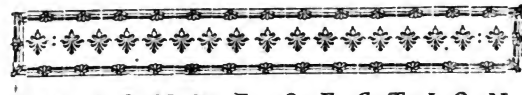
Un autre accident qu'il est plus difficile d'éviter, & auquel on ne s'avise pas néanmoins de faire sitôt attention, c'est la courbure que le navire reçoit ordinairement dès ce

premier inſtant dans le ſens de ſa longueur. La plûpart des Lecteurs ſçavent que toutes les liqueurs pouſſent en haut les corps qui flottent ſur leur ſurface à proportion du volume qu'ils y occupent : c'eſt d'ailleurs ce que j'aurai occaſion d'expliquer dans le Livre ſuivant. Le navire occupant par ſon milieu beaucoup plus d'eſpace dans l'eau, en eſt beaucoup plus ſoutenu : au lieu que c'eſt le contraire de la proue & de la poupe, en même tems qu'elles ſont plus peſantes. Ainſi le ſoutien que fournit l'eau n'eſt pas diſtribué comme il le devroit ; il eſt appliqué principalement au milieu, quoique ce ſoient les extrémités qui peſant davantage en auroient plus beſoin. On ne doit point s'étonner après cela qu'un corps autant appeſanti que fortifié par toutes les pieces de bois qui le forment, ſe courbe ou *s'arque* conſidérablement, & que la quille en faiſant un arc très-ſenſible, tourne ſa convexité en haut. Cette courbure, qui augmente de plus en plus, parce que la cauſe qui la produit, agit ſans ceſſe, oblige de faire de grandes réparations aux navires, & les rend à la fin incapables de naviger. Mais on peut remarquer que le premier effort qu'ils ſouffrent lorſqu'on les lance à l'eau, produit déja un très-dangereux effet. Quelquefois l'arriere eſt encore ſur le chantier, pendant que tout l'avant eſt preſqu'en l'air, & que ſon poids fait effort pour courber la quille & toutes les autres pieces ſituées dans le même ſens. Il eſt vrai que ſi *le berceau* s'étend fort loin dans l'eau, ce qu'on a la facilité de faire dans les Ports de l'Océan, en profitant du reflux pour y travailler, & de la pleine mer pour mettre le navire à la mer, il y a beaucoup moins de riſque. Cependant la proue ſe trouvant ſoutenue par l'eau pendant que l'arriere s'appuye encore ſur le chantier, la quille & diverſes autres pieces ſont dans le cas d'un corps long & flexible ſoutenu par les deux extrémités ; & elles acquierent en ſe pliant en deſſous, plus de facilité à *s'arquer* enſuite dans le ſens contraire. Ainſi laiſſant même à part divers autres accidens qui ne ſont que trop fréquens, il ſeroit toujours à ſouhaiter qu'on eût des baſſins ou des for-

mes dans tous les Ports pour y pouvoir conſtruire tous les vaiſſeaux.

Une marque infaillible qu'un navire s'eſt plié ou *arqué*, c'eſt qu'on voit que les bordages d'en haut dont les bouts étoient exactement joints les uns aux autres, pendant qu'il étoit encore ſur le chantier, ſe trouvent un moment après conſidérablement éloignés les uns des autres. On ne peut pas douter après cela que tout l'ouvrage n'ait cedé & obéi. Pour déterminer avec autant de précilion que de facilité, la quantité de la courbure, il n'y a, lorſque le vaiſſeau eſt encore ſur le chantier, qu'à élever trois regles verticalement ſur le Pont, ou, ſi l'on veut, dans la cale ſur la carlingue, l'une au milieu & les deux autres aux deux extrémités à l'avant & à l'arriere. On placera des mires à une certaine hauteur ſur les deux qui ſont aux extrémités, & faiſant monter ou deſcendre une troiſieme mire ſur la regle du milieu; juſqu'à ce qu'elle ſoit exactement en ligne droite avec les deux premieres, ou ſur le même rayon viſuel, on meſurera ſa hauteur au deſſus du Pont, ou au-deſſus de la carlingue. Si on fait enſuite la même opération, lorſque le navire ſera à l'eau, & qu'on trouve qu'il faut toujours mettre cette mire du milieu à la même hauteur, ce ſera une marque que le navire ne s'eſt point arqué; mais s'il faut la mettre plus bas d'une certaine quantité, comme cela arrivera preſque toujours, ce ſera une marque que le milieu du navire s'eſt élevé, & on connoîtra exactement de combien. Rien n'empêchera d'examiner de cette ſorte quel eſt de tems en tems le progrès du mal, en réiterant l'expérience ſur la carlingue & ſur le pont, & on ſçaura beaucoup mieux le remede qu'il faudra y apporter.





SECONDE SECTION.

Des Agreils ou Apparaux du Navire.

CHAPITRE PREMIER.

Du Gouvernail & du Cabestan.

I.

LE vaisseau déja construit a besoin de beaucoup d'autres choses pour pouvoir naviger ; & toutes ces pieces ou parties qu'il faut lui ajouter, se nomment *agreils*, ou *apparaux*. Tel est le gouvernail, dont tout le monde sçait l'usage, pour maintenir le navire sur la même route, ou pour l'en faire changer, & qui dans la comparaison du vaisseau avec les poissons, représente la queue dont il remplit quelques-unes des fonctions. Cet instrument est attaché par de gros gonds à l'étambot, & on le fait tourner par le moyen d'un long levier qu'on nomme *barre* ou *timon*, qui étant inséré presque perpendiculairement dans le haut, s'introduit dans le vaisseau le plus souvent entre les deux premiers ponts par la sainte-barbe *, en passant par dessus la tête de l'étambot. Le gouvernail est fort étroit dans toute sa partie qui est hors de l'eau ; celle qui est dans la mer & qui est exposée à l'impulsion, n'a guere aussi que quatre pieds de largeur dans les plus grands navires, & environ deux dans les plus petits. A l'égard de son épaisseur, elle doit être la même que celle de l'étambot, afin que l'eau le frappe dans toute sa largeur, de quelque côté qu'on le tourne.

* *La sainte-barbe est l'appartement le plus bas de la poupe, qui sert principalement aux Canoniers.*

Pour

Pour faire tourner le gouvernail avec plus de facilité, on se sert ordinairement d'une roue de trois ou quatre pieds de diametre, placée verticalement sous le gaillard dans le sens de la largeur du navire. AB (Fig. 27.) est l'étambot, DC est le gouvernail, & CE est la *barre* ou le *timon*; à son extrémité E, on applique deux cordes EIL, & EFHK qui passant sur les deux poulies G & F, arrêtées aux deux côtés du navire, & venant repasser sur les poulies I & H, montent ensuite verticalement jusqu'à l'axe MN de la roue OP, & s'enveloppent chacune de différens côtés sur cet axe. Il est clair que lorsqu'on fait tourner la roue OP dans un certain sens, une des cordes se lâche, en même-tems que l'autre se roidit, & doit tirer le timon vers le flanc du navire. La force des Matelots ou des *Timoniers* doit se trouver multipliée autant de fois que le rayon de la roue est plus grand que le rayon de son essieu, & que la longueur du timon est plus grande que la demi-largeur du gouvernail. Dans les plus grands vaisseaux le timon AE peut avoir 30 pieds de longueur, ce qui donne déja un avantage considérable à la force motrice; elle est appliquée à quinze fois plus de distance, son mouvement doit donc être quinze fois plus grand. D'un autre côté le rayon de la roue OP, peut être trois ou quatre fois plus grand que le rayon de l'axe ou de l'arbre MN; ce qui multiplie la force encore trois ou quatre fois. Ainsi faisant abstraction du frotement, qui ne laisse pas d'être considérable, la force de chaque *Timonier* est multipliée quarante-cinq ou soixante fois; il suffit par conséquent de faire un effort de vingt livres pour en soutenir un de neuf cens, ou de douze cens livres, que feroit l'eau par son choc contre le gouvernail. C'est aux Anglois que nous devons cette disposition.

Fig. 27.

Les personnes qui ont ignoré la science du mouvement, ont admiré de tout tems l'effet du gouvernail, qui ayant si peu de rapport au vaisseau par sa grandeur, réussit cependant d'une maniere si infaillible à le faire changer de direction. Lorsque le navire suit constamment une certaine route, toutes les puissances à l'action desquelles il est sujet

sont exactement en équilibre les unes avec les autres : l'effort du vent sur les voiles de la proue se contrebalance exactement avec l'effort du vent sur celles de la poupe ; & la somme de ces efforts est aussi parfaitement en équilibre avec celui que fait l'eau en choquant la carene. Ainsi il ne faut pas toucher au navire le moins du monde, si on veut que cet équilibre subsiste, & que le sillage continue à se faire sur la même ligne. Mais si par la méchanique que nous venons d'expliquer, on fait tourner le gouvernail tout-à-coup, & que situé qu'il étoit sur le prolongement de la quille, on lui donne une situation oblique ; l'eau le frappera avec d'autant plus de force, que le navire singlera avec plus de vitesse ; l'équilibre sera alteré, & le sera d'autant plus que le gouvernail étant appliqué à l'extrémité de la quille, & à une grande distance du centre de gravité du navire, est situé très-avantageusement pour agir avec une grande force relative. Le gouvernail sera poussé en arriere, mais il sera poussé en même-tems de côté, à cause de sa position oblique ; & si le premier effort ne fait que ralentir un peu la promptitude du sillage, il est clair que le second doit transporter la poupe de côté, & faire tourner le vaisseau. On n'a, pour voir tout cela, qu'à jetter les yeux sur la figure 28, qui représente un navire réduit, pour ainsi dire, à la quille AB. Le gouvernail AC est poussé par l'eau selon une direction DE, qui lui est perpendiculaire, comme on l'apprend en méchanique. Mais il y a nécessairement une partie de cet effort qui s'employe à le pousser de côté selon DF ; & c'est cet effort partial, qui est peu considérable en lui-même, mais qui est capable d'une grande action, vû la longueur du levier dont il est aidé, qui fait tourner le vaisseau, en faisant passer la poupe de A en *a*, en même-tems que la proue passe de B en *b*. Toutes les fois donc qu'on met le gouvernail dans une situation oblique ; qu'on le fait avancer du côté droit, par exemple, ou du côté de *stribord*, la poupe est jettée du côté opposé, du côté gauche, ou de *basbord ;* pendant que la proue qui reçoit un mouvement contraire, doit tourner du même côté qu'on a tourné le gouvernail. Ceci est toujours vrai, lorsque le

Fig. 28.

navire va de l'avant, au lieu que s'il reculoit, comme cela arrive quelquefois, ce feroit tout le contraire. En mettant le gouvernail à droite ou à gauche, le navire (je veux dire sa proue) se détourneroit de l'autre côté, & cela par la même raison.

Un si grand nombre de Géometres ont déterminé la situation la plus avantageuse du gouvernail, que je crois pouvoir me dispenser de donner une nouvelle solution de ce problême. On a trouvé que le gouvernail doit faire avec le prolongement de la quille un angle CAE, d'environ $54^d\ 44'$; il est vrai qu'on a négligé une considération, & que le problême n'est rigoureusement bien résolu que lorsqu'on suppose que la largeur du gouvernail est infiniment petite, par rapport à la longueur du navire. Qu'on diminue un peu l'angle CAE, ou qu'on rapproche un peu plus le gouvernail du prolongement de la quille, l'impulsion de l'eau sera un peu moindre; mais d'un autre côté elle sera appliquée à une plus grande distance du centre de gravité G, & agira plus efficacement: car le milieu D du gouvernail dans lequel l'effort se réunit, se sera un peu éloigné du corps du navire. Pour avoir la longueur du bras de levier auquel l'effort absolu est appliqué, il faut abaisser du centre G une perpendiculaire GI sur la direction IDE; & il est également clair qu'on ne peut diminuer l'angle EAC, sans rendre le bras de levier GI un peu plus long. Tout contribue donc à montrer que l'angle déterminé par les solutions ordinaires, dans lesquelles on n'a pas fait entrer cette attention doit être un peu corrigé: mais on trouve en examinant la chose, que le changement ne doit être tout au plus que des trois quarts d'un degré. Supposé que b designe la distance AG du centre de gravité G du navire à l'extrémité A de la poupe, & a la demi-largeur DA du gouvernail, on aura $-\frac{a^2}{3b}+\sqrt{\frac{a^4}{9b^2}+\frac{1}{3}a^2}$ pour le sinus du complement de l'angle CAE, que doit faire le gouvernail avec la quille, lorsqu'on fait servir la demi-largeur a de sinus total. Cette expression devient $a\sqrt{\frac{1}{3}}$, aussi-tôt qu'on

suppose b infinie, comme l'avoient fait tous les Auteurs qui avoient examiné le même problême. On pourra, si on le veut, joindre à la considération que nous venons de faire, l'attention qu'a eu M. Pitot de distinguer la direction de l'eau qui choque le gouvernail, de la direction de la quille *, lesquelles sont effectivement différentes dans toutes les routes obliques.

* Voyez la théorie de la manœuvre des vaisseaux, &c. section VII.

Du Cabestan.

II.

Pour élever plus aisément les vergues ou les abaisser, lever les ancres & faire différentes autres manœuvres, on a toujours dans les vaisseaux des *vindas*, ou *treuils*, que les Marins nomment *cabestans*. J'en ai représenté un dans la figure 29; lequel sert en même-tems dans deux différens étages ou entreponts du vaisseau : il a de diametre environ la onzieme partie de la largeur du navire. Le cordage qu'on veut roidir doit s'envelopper sur la partie CD, ou sur la partie EF, qui étant faite à redens, est capable de le soutenir, quoiqu'il ne fasse qu'un très-petit nombre de tours, & qu'on le développe presque toujours par l'autre bout. On voit aussi les trous dans lesquels on fait entrer les leviers I, G, K, &c. dont chacun, qui forme comme un rayon, a 10 ou 12 pieds de longueur dans les plus grands navires, & est quatre ou cinq fois plus grand que le rayon du cabestan. Ainsi la force de chaque homme, lorsqu'elle est appliquée à l'extrémité d'une *barre*, ou d'un de ces leviers, est multipliée dans le même rapport; elle est multipliée quatre ou cinq fois, puisqu'elle est aidée par un bras de levier quatre ou cinq fois plus long. C'est à-peu-près la même chose de l'effort des Matelots qui agissent sur des cordes tendues de l'extrémité d'une barre à l'autre : mais ceux qui sont plus près du cabestan, ont beaucoup moins d'avantage, & la force de chacun, en prenant le terme moyen, n'est gueres multipliée que trois fois. Quelquefois plus de 110 ou 120 Matelots travaillent en même-tems; & alors la machine

Fig. 29.

fait donc le même effet que si trois ou quatre cens hommes agissoient ensemble.

Il est assez facile de se tromper dans l'estimation de la force qu'employe chaque Matelot ; & on ne croira peut être qu'avec peine, qu'il ne faut gueres compter que sur un effort de 20 ou 25 livres. On doit cependant remarquer, que ce n'est pas ici le cas où un homme chargé d'un grand poids, peut soutenir deux ou trois cens livres, parce que toute sa force, sans qu'il y en ait rien de perdue, est employée efficacement à porter le fardeau. Les Matelots en travaillant au cabestan ne poussent les barres ou les leviers qu'obliquement, en s'appuyant contre le pont ; & de toute leur force, quoique fort grande, il n'y a que la petite partie qui s'exerce horisontalement qui soit capable d'effet. Leur premier effort, lorsque la machine ne tourne point encore, doit être plus grand ; parce que leurs pieds étant stables, ils n'ont qu'à se roidir le plus qu'ils peuvent. Mais aussi-tôt que le cabestan est en mouvement, les Matelots sont obligés de marcher ; ils n'ont plus ni le tems ni la facilité de s'*arcbouter* comme ils le faisoient d'abord : d'ailleurs leurs efforts ne sont pas parfaitement simultanés ; & toutes ces raisons sont cause que la force commune ou moyenne de chacun, n'est tout au plus que de la quantité que nous avons spécifiée. Il suit de tout cela que le grand cabestan dans les plus grands vaisseaux, n'est capable par sa seule action que d'un effort absolu de 10 ou 12 milliers.

Le grand cabestan est placé en arriere, afin de joindre à ses autres usages, l'avantage de servir plus aisément aux manœuvres du grand mât. L'autre cabestan, lorsqu'il y en a un second, se met en avant ; il est situé à peu-près par rapport au mât de misaine, ou au second mât, comme le grand cabestan l'est par rapport au premier.

Dans les plus petits navires, où l'équipage est peu nombreux, on n'a qu'un seul cabestan situé horisontalement, au pied du second mât, & qui occupe toute la largeur du navire. On nomme ordinairement ce cabestan *virevau*. Les Matelots qui le font tourner, se mettent tout le long, &

chacun peut faire un effort de 60 ou 80 livres; parce qu'en s'appuyant sur le levier, il le charge de presque toute sa pesanteur. Il est vrai que cet avantage est suivi de l'incommodité où l'on est de changer les barres de place, d'instant en instant; ce qui est cause que le mouvement ne peut pas être si continu, que dans le cabestan vertical. Toutes ces machines ont toujours des entailles pour recevoir l'extrémité d'un morceau de bois ou d'une espece de cliquet qui permet le mouvement dans un sens, & qui s'y oppose dans l'autre. Les Matelots ont de cette sorte le tems de reprendre haleine, & se trouvent à couvert du péril auquel ils seroient quelquefois exposés, d'être renversés & blessés par le retour des barres.

CHAPITRE II.

De la nécessité d'avoir des pompes dans les vaisseaux, & de la maniere de les disposer.

MALGRÉ l'extrême attention avec laquelle on applique les *bordages* du navire, & qu'on interdit tout passage à l'eau, elle ne laisse pas encore de s'introduire; & si on ne se précautionnoit pas contre un mal qui iroit toujours en augmentant, on se trouveroit bientôt dans le dernier péril. On ne manque jamais, pour éviter ce malheur, d'avoir plusieurs pompes, ordinairement quatre, placées au milieu du navire, de celles qu'on nomme aspirantes, & dont on doit la premiere invention à *Ctesibius*, Mathématicien d'Alexandrie. La science Hydraulique fournit plusieurs autres machines pour élever les eaux; mais la pompe aspirante doit être préferée dans les navires, à cause du peu d'espace qu'elle occupe. Les Anglois ont quelquefois recours à l'usage de la machine nommée *chapelet*, qui épuise beaucoup d'eau en peu de tems. Dans

les vaiſſeaux Chinois, on partage ſouvent la cale ou la capacité interieure en un grand nombre de cellules, afin que ſi l'eau trouve le moyen de s'inſinuer dans quelques unes, l'entrée dans les autres lui ſoit encore interdite. Si cet uſage a ſes avantages, il a auſſi ſes inconveniens : il embarraſſe la cale ; & comme il peut arriver outre cela dans les abordages, que la force du coup ſoit ſi grande, que toutes les cellules s'entrouvrent en même-tems, il eſt ſans doute toujours plus ſûr d'avoir des pompes, pour s'en ſervir au beſoin, au moins lorſqu'on navige ſur notre Océan. Les quatre qu'on met ordinairement au pied du grand mât, ſont renfermées par quatre cloiſons dans le fond de cale, & ce retranchement ſe nomme *l'archipompe*.

On forme preſque toujours les pompes d'une longue piece de bois (d'ormeau) qu'on taraude ou qu'on perce dans le ſens de ſa longueur, & le trou a quatre ou cinq pouces de diametre. On voit dans la figure 30 une de ces pompes dont AB eſt le *corps*, & AD eſt le *piſton*, ou *bâton*, dont j'ai repréſenté à côté l'extrémité inférieure en grand, que les Marins nomment *heuſe*; S eſt la *ſoupape*, qu'ils nomment *clapet*. On voit en C une ſoupape ou *clapet*, qui ne s'ouvre auſſi qu'en deſſus, & qui ſert à retenir l'eau qu'on a déja fait monter, & qui par les coups redoublés du piſton, doit parvenir juſqu'à l'ouverture G par où elle ſort. Cette ſoupape C eſt renfermée dans une autre boëte cylindrique nommée *chopine*. On remarquera que ces pompes ne ſont abſolument qu'*aſpirantes* ; car lorſqu'on tire en haut le piſton, la ſoupape S ſe ferme, il ſe fait une eſpece de vuide dans la pompe, & l'eau monte de la même maniere qu'elle entre dans une ſeringue dont on tire à ſoi le piſton. L'eau, en un mot, eſt *aſpirée*, & elle ne peut pas retomber, parce que la ſoupape C, qui lui a permis l'entrée, lui refuſe la ſortie. Mais auſſi-tôt que l'eau eſt parvenue aſſez haut, le piſton commence à faire une nouvelle fonction : on ne peut pas le faire deſcendre ſans qu'il n'atteigne l'eau, & ne la puiſe. Cette eau en ouvrant la ſoupape S, paſſe au-deſſus, & vient vers l'ouverture G par le jeu du piſton vers

Fig. 30.

Fig. 30. le haut, pendant que d'autre eau en dessous remonte encore pour remplir le nouveau vuide. Quelquefois le levier, ou la *brimbale* EF, est appliquée immédiatement au piston, & soutenue par un des côtés du corps de la pompe, qui s'éleve d'un pied ou d'un pied & demi; mais le plus souvent ce levier est suspendu en l'air à 9 ou 10 pieds de hauteur, & l'on applique à son extrémité F diverses cordes qui donnent la facilité à un grand nombre de Matelots d'agir ensemble. Cette disposition, qui a d'abord été particuliere aux Venitiens, en a pris le nom.

Tous les lecteurs qui sont un peu initiés dans la Physique, sçavent que le jeu ou le mouvement HI du piston doit se faire à moins de 32 pieds de hauteur HB, au-dessus de la surface OL de l'eau. Si cette hauteur étoit un peu plus grande, l'air qui en s'appuyant sur la surface OL par son poids, & qui en la comprimant par-tout, excepté dans la pompe, doit la faire monter, n'auroit pas assez de force pour la soutenir jusqu'au piston, ou pour la faire remonter encore. Ce n'est point ici le lieu d'expliquer de quelle maniere s'exerce la pesanteur de l'air; comment on sçait qu'elle est égale à celle d'une hauteur de 32 pieds d'eau, ni comment cette force, quoique si considérable, & quoiqu'elle agisse sans cesse, ne se fait pas néanmoins sentir à nous, en nous pressant. Nous bornant à notre sujet, nous nous contenterons de dire que cette force fait monter l'eau dans une pompe, & qu'elle ne le fait pas dans un tuyau placé verticalement, & ouvert par les deux extrémités; parce que si elle comprime la surface de l'eau hors du tuyau, elle la comprime aussi également dans le tuyau même, & l'empêche de monter. Il faut donc que le piston fasse par son jeu dans la pompe une espece de vuide; mais ce n'est pas assez qu'il descende à moins de 32 pieds, il faut qu'il descende encore beaucoup plus bas; autrement l'eau après s'être élevée jusqu'à un certain terme, ne le passeroit pas, quoiqu'on pompât sans cesse, ou qu'on tînt le piston continuellement en mouvement.

Pour avoir un exemple de cet arrêt dans l'élevation de l'eau,

l'eau, on n'a qu'à ſuppoſer que l'eau eſt déja parvenue juſqu'en K à ſeize pieds de hauteur, & que le piſton, par ſon jeu, ne réduiſe qu'à la moitié l'eſpace qui eſt au-deſſus dans la pompe. C'eſt-à-dire, que ſi IH eſt le jeu du piſton, ou l'eſpace qu'il parcourt; nous ſuppoſons que l'eſpace HK qui reſte au-deſſous eſt égal à IH. Lorſque le piſton deſcend juſqu'en H, tout l'air qu'il y avoit de trop dans l'eſpace IK ſort par la ſoupape S; & il n'en reſte qu'autant qu'il en peut entrer dans ſon état naturel dans l'eſpace KH. Mais auſſi-tôt qu'on fait remonter le piſton juſqu'en I, l'air extérieur ſe ferme lui-même le paſſage, en preſſant la ſoupape S par deſſus, & l'air intérieur qui occupoit HK doit s'étendre dans tout l'eſpace KI deux fois plus grand. Ainſi cet air deux fois plus dilaté, aura deux fois moins de reſſort; car on ſçait que l'air tend toujours à s'étendre, mais qu'il tend moins à le faire à meſure qu'il lui a déja été permis de s'étendre davantage, & que ſa force élaſtique, qui ſe met toujours en équilibre avec le poids qui le comprime, ſuit préciſément la raiſon inverſe de ſes dilatations. L'air contenu en KI, au lieu d'avoir un reſſort égal en force à la peſanteur d'une colonne d'eau de 32 pieds de hauteur, n'en aura donc que la moitié; & en faiſant effort pour ſe dilater, il preſſera par conſéquent la ſurface K de l'eau qui eſt dans la pompe avec la même force que le feroit une colonne d'eau qui feroit au-deſſus & qui auroit 16 pieds de hauteur. Mais cette preſſion étant ajoutée avec le poids même de la colonne d'eau KB qu'on a ſuppoſée de 16 pieds, le tout fait un effort équivalent à la peſanteur d'une colonne de 32 pieds; & puiſque la preſſion que fait l'air extérieur ou l'atmoſphere ſur la ſurface OL, eſt limitée à ce même poids, il eſt certain qu'elle pourra bien entretenir l'équilibre, & empêcher l'eau de retomber, mais non pas la faire remonter d'une ſeule ligne plus haut. La preſſion de l'air extérieur, je le repete, tend à faire entrer continuellement de nouvelle eau par le bas de la pompe avec une force égale à la peſanteur de 32 pieds de hauteur d'eau; & il eſt vrai qu'il n'y a que 16 pieds d'eau en BK; mais

Fig. 30.

M

Fig. 30.

d'un autre côté l'air qui est en dessus dans l'espace KI, quoique dilaté, agit encore par son ressort avec une force de 16 pieds, & ce ressort joint avec le poids de la colonne BK doit suspendre l'effet de la compression extérieure que forme continuellement l'atmosphere, sur OL. On redoublera inutilement les coups de piston ; car en le faisant descendre & en l'élevant ensuite, on réduira l'air HK à son état naturel, & sur le champ on le rendra deux fois plus dilaté ; ce qui ne fera jamais diminuer sa force élastique que de moitié, & la rendre égale au poids de 16 pieds d'eau.

Ce sera la même chose dans une infinité d'autres cas ; l'eau s'arrêtera à une certaine hauteur ; & il ne sera jamais difficile de déterminer *les points d'arrêt*, aussi-tôt que le jeu du piston sera *donné*, de même que sa hauteur au-dessus de la surface de l'eau. Lorsque l'eau s'arrête, il faut nécessairement, ainsi qu'on vient de le voir, qu'il y ait un équilibre parfait entre tout le poids de l'atmosphere d'un côté qui s'appuye sur la surface extérieure OL, & de l'autre le poids de la colonne d'eau BK qui tend à redescendre, aidée outre cela de l'effort que fait l'air qui est au-dessus en KI, pour se dilater encore davantage, & qui pousse en bas la colonne KB. Cet air dans son état naturel occupoit l'espace HK ; mais lorsqu'on hausse le piston, il occupe tout l'espace KI. Pour sçavoir combien il a encore de force élastique, après sa dilatation, il n'y a qu'à faire cette analogie ; KI est à HK, comme sa force élastique dans son état naturel, égale à la pesanteur d'une colonne d'eau de 32 pieds de hauteur, & que nous exprimerons par 32, est à $\frac{HK \times 32}{KI}$, pour l'effort que fait encore l'air KI. Or ajoutant cet effort avec la pesanteur de la colonne BK qu'on peut exprimer par sa hauteur même, nous aurons $\frac{HK \times 32}{KI} + BK$ pour la force totale avec laquelle l'eau tend à sortir par le bas de la pompe. Mais elle en est empêchée par la pression de l'atmosphere sur la surface OL ; & cette

preſſion étant exprimée par 32 pieds, nous aurons dans l'état d'équilibre l'équation $\frac{HK \times 32}{HI} + BK = 32$, & ſi on multiplie de part & d'autre par KI, il viendra $HK \times 32 + BK \times KI = KI \times 32$; & $BK \times KI (= KI \times 32 - HK \times 32) = IH \times 32$. Ainſi on voit que pour trouver le point d'arrêt K, ou que pour obtenir le cas de l'équilibre entre la peſanteur de l'atmoſphere & la force totale avec laquelle l'eau tend à redeſcendre dans la pompe, il n'y a qu'à partager la plus grande élevation BI du piſton en deux parties *BK* & KI qui ſoient telles que leur rectangle ſoit *égal* à celui de 32 pieds par l'étendue HI du jeu même du piſton; ce qu'on peut exécuter par une conſtruction très-ſimple.

Fig. 30.

Le cas de l'équilibre a lieu lorſque $BK \times KI = IH \times 32$. Mais ſi au lieu de la premiere équation $\frac{HK \times 32}{KI} + BK = 32$, on ſuppoſe que l'effort extérieur que fait le poids de l'atmoſphere pour élever l'eau dans la pompe, effort qui eſt exprimé par le ſecond membre, eſt moindre que l'effort que fait l'eau pour deſcendre, pouſſée qu'elle eſt par l'air intérieur qui eſt au-deſſus, on aura $\frac{HK \times 32}{KI} + BK > 32$ pour tous les cas où l'eau doit retomber; & on en déduira $BK \times KI > IH \times 32$. On trouvera au contraire $BK \times KI < IH \times 32$ pour tous les cas où la pompe doit produire ſon effet en élevant l'eau. Or il ſuit de-là qu'il ſuffit de déterminer le point d'arrêt indiqué par l'équation $BK \times KI = IH \times 32$, pour faire le partage entre les cas où la pompe éleve l'eau & ceux où elle la laiſſe redeſcendre.

Ayant tiré une droite AB (Fig. 31.) pour repréſenter la hauteur de la pompe, & pris ſur cette ligne l'eſpace HI pour repréſenter le jeu du piſton dont HB marque la moindre hauteur au-deſſus de la ſurface de l'eau, & BI la plus grande; il n'y a qu'à porter au-deſſus du point I l'eſpace IM de 32 pieds. Si la pompe étoit deſtinée à ſervir ſur les plus hautes montagnes, ou dans les cavernes les plus profondes, il ne faudroit pas faire IM de 32 pieds, mais de la

Fig. 31.

Fig. 31. hauteur de la colonne d'eau qui fait équilibre avec la pesanteur de l'atmosphere dans ces endroits, ou qui est environ 14 fois plus grande que la hauteur du mercure dans le barometre. On décrira ensuite le demi-cercle HNM sur HM comme diametre, & élevant la perpendiculaire IN au point I de BM, le quarré de cette perpendiculaire sera égal au rectangle du jeu HI du piston par 32 pieds. Ainsi pour diviser BI en deux segmens BK & KI dont le rectangle soit égal à celui de HI par 32 pieds, il n'y a qu'à faire ce premier rectangle égal au quarré de IN. On tracera pour cela le demi-cercle IRB sur IB comme diametre, & tirant N*r* parallelement à IB, & abaissant des points où cette ligne coupe la demi-circonference IRB des perpendiculaires sur IB, on aura en K & en *k* deux points d'arrêt: car les rectangles de B*k* par *k*I, ou de BK par KI seront l'un & l'autre égaux au quarré de KR, ou de IN, qui est égal au rectangle de HI par l'espace IM de 32 pieds. C'est-à-dire donc que lorsqu'on fera agir la pompe, l'eau montera jusqu'en *k*, mais ne montera pas plus haut. Elle s'arrêtera également en K; au lieu que dans tous les points d'entre deux, elle retomberoit. Au-dessus & au-dessous de l'espace *k*K la pompe doit élever l'eau, parce que $BK \times KI < IH \times 32$; au lieu que dans l'espace *k*K, elle doit être privée de son effet, & l'eau doit retomber; parce que $BK \times KI > IH \times 32$. Plus le jeu IK du piston est grand, les autres conditions restant les mêmes, plus IN est grande, & plus les points R & *r* deviennent voisins l'un de l'autre, de même que K & *k*. Mais si le jeu du piston étoit assez grand, ou si IB étoit assez petite, pour que NR ne coupât plus la circonference IRB; alors il n'y auroit plus de point d'arrêt ni d'espace *k*K à craindre.

Nous pouvons de-là inferer cette regle, que pour que l'effet de la pompe soit infaillible, il faut que la moitié de BI soit moindre que IN; ou ce qui revient au même, qu'il faut que le quarré de la moitié de la hauteur du piston, lorsqu'il est élevé, soit moindre que le rectangle de son jeu HI par 32 pieds, ou par IM. Si le jeu du piston est de

deux pieds, le rectangle dont il s'agit, sera de 64, & il faudra par conséquent que BI ne soit pas de 16 pieds. On pourroit, pour plus de sûreté, mettre la soupape C (Fig. 30.) tout-à-fait en bas du corps de pompe & faire ensorte que le piston vînt y toucher. Alors la pompe ne manqueroit jamais: car lorsqu'on tireroit le piston en haut, ce ne seroit plus de l'air dilaté & capable d'un certain ressort qui se trouveroit au-dessous; se seroit du vuide, ou de l'éther dont l'action ne doit pas être comptée & qui ne s'opposeroit point à l'élevation de l'eau. Mais d'un autre côté, il faudroit travailler beaucoup en pompant, à cause de la plus grande colonne d'eau que le piston auroit à élever chaque fois: cette colonne auroit toute la hauteur CG.

Fig. 31.

Une des principales attentions qu'on doit avoir, c'est de remedier à la négligence des ouvriers qui s'occupent dans nos ports à construire ces instrumens. Ils les font toujours avec si peu de justesse, qu'il s'en faut souvent beaucoup que le piston ne remplisse exactement le corps de la pompe; cela est cause qu'il faut verser de l'eau dans l'espace AD afin d'interdire à l'air extérieur toute entrée, & il faut encore que les mouvemens des Matelots qui font agir le piston soient extrémement vifs. On est obligé dans les meilleurs vaisseaux d'avoir recours à la pompe de tems en tems, quelquefois d'heure en heure, quelquefois plus souvent; exercice qui est si pénible que rien ne fatigue davantage l'équipage. On gagneroit considérablement à faire les pompes avec plus de soin, à faire ensorte que les deux soupapes se fermassent exactement, & sur-tout à donner assez de grosseur au bas du piston, pour que l'air ne trouvât point de passage autour. Il est vrai qu'il y auroit ensuite un plus grand frottement à vaincre; mais les Matelots ayant la liberté de travailler plus à loisir, pourroient faire en trois ou quatre fois plus de tems, ce qu'ils sont obligés de faire maintenant en peu de minutes, & le travail dont il s'agit n'auroit plus rien de pénible.

Quelques personnes ont cru qu'on pouvoit mettre sur les deux côtés du vaisseau deux especes de mou-

lins, qui, tournant par le choc de l'eau, pendant que le navire fait sa route, fissent jouer les pompes. Il n'y a point de doute que ce moyen ne réussît, malgré quelques inconvéniens considérables ausquels il seroit souvent sujet. Dans le roulis, par exemple, ou dans les balancemens que le navire fait d'un côté à l'autre, un des moulins entreroit presque entierement dans l'eau, & l'autre en sortiroit : outre cela le sillage en seroit considérablement retardé ; & il semble, lorsqu'un navire reçoit ou *fait beaucoup d'eau*, qu'on doit s'attacher au contraire à rendre la vîtesse de sa marche encore plus grande, afin de sortir plus promptement de péril.

C'est ce qui me fait soupçonner qu'au lieu de se servir de l'effort de l'eau pour faire agir les pompes, il vaudroit incomparablement mieux employer une autre force. Je ne sçais si on ne pourroit pas sans trop de difficulté appliquer sur la poupe, en arriere de l'artimon, une espece de moulin à vent, ou avoir au moins toujours prêtes les pieces nécessaires pour en composer les volans ou les aîles ; & on les disposeroit dans les besoins pressans. Ces volans seroient placés à l'extrémité d'un axe coudé situé horisontalement, & une corde qui y seroit attachée & qui passeroit par quelques poulies pour changer sa direction, viendroit se rendre au-dessus de la pompe, & suspendroit le piston, lequel monteroit lorsque la corde le tireroit en haut, & descendroit au contraire par son propre poids, ou par l'action de quelques matelots, lorsque la corde se lâcheroit, pendant l'autre demi-tour de l'axe coudé. Cette machine, qui, comme on le voit, est extrémement simple, agiroit toujours & pourroit faire, par la continuité & la durée de son exercice, ce qu'on ne réussit à faire chaque jour que par reprises, mais avec un travail sous lequel la plus grande force des hommes ne succombe que trop souvent.

CHAPITRE III.

Des Ancres & des Cables.

I.

NOus ne prétendons pas expliquer généralement l'usage de tous les *apparaux*; il suffit que nous parlions des plus considérables, & de ceux principalement sur lesquels nous avons quelques remarques à faire. Les cables & les ancres sont d'un usage indispensable, pour retenir le vaisseau dans une rade, où il est quelquefois exposé à toute la fureur du vent & de la mer. Chaque navire a au moins cinq ou six cables de différentes grosseurs; & pour regler celle du plus gros, qu'on nomme ordinairement le *maître cable*, on lui donne de circonference la vingt-quatrieme partie de la largeur du navire; ou, ce qui revient au même, on lui donne autant de pouces de circonférence, que la moitié de la longueur du maître bau contient de pieds. Supposé que le vaisseau ait 48 pieds de largeur, on doit donner, selon cette regle, 24 pouces de circonférence à *son maître cable*, & on ne lui en donneroit que 10 si le navire n'avoit que 20 pieds de bau. Les cables suivans ont quelques pouces de moins de grosseur; & cette grosseur se désigne toujours dans la Marine par la circonférence. En France, les cables les plus gros comme ceux qui le sont moins, ont également 600 pieds de longueur, ou 120 brasses; car la brasse est toujours prise pour une mesure de 5 pieds.

Il seroit presque toujours à propos que les cables fussent encore plus longs; car on est souvent obligé d'en mettre plusieurs à l'extrémité l'un de l'autre, par les raisons que nous expliquerons plus bas. Mais il est assez difficile de les faire d'une seule piece de plus de 600 pieds, ou de 120 brasses. Les premiers fils dont ils sont formés sont plus

longs d'une moitié; ils ſont de 180 braſſes, lorſqu'on veut que le cable ſoit de 120; de ſorte qu'ils perdent un tiers de leur longueur, par la maniere dont on les tourne en les *cablant*. Il faudroit donc que les premiers fils fuſſent plus longs à proportion, ſi on vouloit donner plus de longueur aux cables; & cette longueur feroit naître dans l'exécution diverſes difficultés.

Une remarque qui peut ſervir dans différentes rencontres, c'eſt que le poids en livres d'une braſſe de cordage eſt à-peu-près la cinquieme partie du quarré de ſa groſſeur exprimée en pouces. Cette regle ſera toujours aſſez exacte; principalement lorſque le cordage ſera bien fait & ne ſera pas trop chargé de goudron. * Pour ſçavoir, par exemple combien peſe un braſſe, ou une piece de 5 pieds de long, d'un cable qui a 24 pouces de circonférence, il n'y a qu'à multiplier 24 par 24; en prenant la cinquieme partie du produit, on aura 115 $\frac{1}{5}$ livres, pour la peſanteur de cette piece; tout le cable, qui eſt 120 fois plus long, peſera donc 13824 livres. Si le cable a 10 pouces de circonférence, un morceau d'une braſſe peſera, par la même raiſon, 20 livres, qui eſt la cinquieme partie du quarré de 10; & le cable entier peſera par conſéquent 2400 liv. On peut auſſi trouver immédiatement ce dernier poids, en multipliant le quarré de la groſſeur toujours par 24.

* Les Cordiers ſont intéreſſés à faire entrer trop de goudron dans leurs cables, parce qu'ils vendent enſuite cette matiere au poids, le même prix que le chanvre, quoiqu'elle leur coûte moins.

II.

Fig. 32.

Les cables ne ſont utiles que par le moyen des ancres, dont on voit la forme dans la figure 32, qui les rend propres à s'engager dans le ſable, ou dans la vaſe du fond de la mer. Les ancres, en France, en Angleterre & en Hollande ne ſont que de fer forgé; mais on en voit ſouvent de bronze en Eſpagne, de même que dans les Ports de la mer du Sud. La partie AD ſe nomme la *verge*, à l'extrémité de laquelle il y a une boucle, ou *organeau* E. Les *deux bras* ſont AB & BC, & les parties KC & IB ſont les *pattes*. On place toujours perpendiculairement à l'extrémité D de la verge, & dans le ſens perpendiculaire aux bras

bras une piece de bois FG, qui eſt de même longueur que la verge, & qui ſert à faire tomber infailliblement l'ancre ſur une de ſes pattes; on nomme cette piece de bois le *jas*. Les deux bras forment ordinairement un arc de cercle dont le centre H eſt aux trois huitiemes de la verge, à commencer du point A; & chaque bras eſt auſſi égal aux trois huitiemes de la verge, ou eſt égal au rayon; de ſorte que les deux enſemble forment un arc de 120 degrés. Les pattes ont de longueur la moitié de celle des bras, & leur largeur eſt les $\frac{2}{5}$ de la longueur du même bras. A l'égard de la groſſeur, on donne ordinairement de circonférence à la verge dans ſon *encolure* en A, & c'eſt la même choſe aux bras à leur naiſſance, la cinquiéme partie de ſa longueur; vers l'autre extrémité, on ne donne à la verge que les deux tiers de cette groſſeur, & chaque bras en a les trois quarts auprès de ſa patte. Ces dimenſions doivent être un peu augmentées, lorſque le fer n'eſt pas de bonne qualité; & elles devroient l'être beaucoup plus, ſi au lieu de fer forgé dont on ſe ſert toujours, on vouloit ſe ſervir de fer fondu.

Lorſque les proportions précédentes ſont obſervées, une ancre de 16 $\frac{3}{4}$ pieds de longueur peſe environ 7000 livres : je dis environ, parce que l'ouvrier en n'affoibliſſant que très-peu certaines parties, ou en leur donnant un peu plus de force, peut faire varier conſidérablement le poids. Mais ſi toutes les ancres ſont ſemblables, comme on tâche de les faire, leur peſanteur doit ſuivre la proportion du cube de leur longueur. Pour trouver cette peſanteur en livres par un moyen aſſez commode, il n'y a qu'à meſurer la longueur de l'ancre en pouces, prendre le cube de cette longueur, & le diviſer toujours par 1160. Ainſi ſuppoſé que la verge de l'ancre ait 10 pieds de longueur, ou 120 pouces, il n'y a qu'à diviſer 1728000 (qui eſt le cube de 120) par 1160, il viendra 1545 livres pour la peſanteur de l'ancre dont il s'agit. Lorſqu'au lieu de connoître la longueur, on connoîtra la peſanteur en livres, il n'y aura qu'à la multiplier toujours par 1160, & extrayant la racine

cubique du produit, on aura la longueur de l'ancre exprimée en pouces.

Pour faire ces deux opérations avec plus de facilité, il n'y a qu'à tripler le logarithme du nombre des pouces de la longueur de l'ancre, & en retrancher toujours le nombre constant 3.0644580, pour avoir le logarithme du nombre de livres que pese l'ancre. Lorsqu'au contraire la pesanteur de l'ancre sera donnée en livres, il n'y aura qu'à ajouter toujours à son logarithme le nombre 3.0644580, & prenant le tiers de la somme, il viendra le logarithme de la longueur de l'ancre en pouces.

Les moindres vaisseaux ont cinq ou six ancres, & les plus grands en ont ordinairement huit. On a dans la Marine diverses regles pour déterminer la grandeur de celles qui doivent servir à chaque navire. Pour des raisons qui regardent la commodité de la manœuvre, on ne peut gueres donner de longueur à la plus grosse ou à la *maîtresse ancre*, pour parler comme les Marins, que les $\frac{3}{8}$ du bau, & on s'en est fait une regle. Une autre maxime, mais qui ne s'accorde pas avec la premiere, comme nous le démontrerons dans un instant, c'est que l'ancre ait de pesanteur la moitié de celle du cable. Ainsi pour les vaisseaux du premier rang, qui ont 48 pieds de bau, & dont le cable a 24 pouces de circonférence & pese 13824 livres, la maîtresse ancre doit peser 6912 livres ; les autres ancres doivent de même avoir la moitié du poids du cable auquel on les applique. La plus petite des ancres est celle qui sert à *touer*, ou celle qui sert de point fixe dans une rade, ou dans un port, pendant qu'on fait avancer le navire en tirant sur un cordage appliqué à cette ancre. L'ancre à *touer* a le tiers de la pesanteur de la maîtresse ancre ; de sorte que dans les vaisseaux du premier rang, elle doit peser environ 2300 livres, & avoir environ 11 pieds 7 pouces de longueur.

Il est très-facile de reconnoître que les deux regles que nous venons d'indiquer, ne peuvent pas se concilier ; & cependant on les joint tous les jours l'une à l'autre, comme

si elles donnoient le même résultat, sans que l'expérience qui devoit suffire pour détromper les Marins sur cette prétendue conformité, les en ait fait appercevoir. Lorsqu'on donne de longueur à la plus grosse ancre les $\frac{3}{8}$ du bau, ou de la largeur du navire, la pesanteur de l'ancre est proportionnelle à la solidité des vaisseaux supposés semblables. Si le navire est deux fois plus large, l'ancre pesera 8 fois davantage. Mais selon la seconde regle la pesanteur de l'ancre est la moitié de celle du cable ; & la pesanteur du cable est seulement proportionnelle au quarré du bau ; puisque la seule grosseur du cable est différente dans les grands & dans les petits navires, & que le cable a toujours la même longueur (120 brasses). Lorsque le navire est donc deux fois plus large, le cable est simplement quatre fois plus pesant, & la pesanteur de l'ancre, qui n'est aussi plus grande que dans le même rapport, est par conséquent deux fois moindre que selon la premiere regle. Cette excessive disconvenance n'eût pas sans doute échappé à l'attention des Marins, sans qu'on se contente toujours dans la Marine d'observer grossierement l'une & l'autre regle, & qu'on a attribué à ce défaut d'observation, les différences qu'on aura quelquefois apperçues.

Quoique la seconde regle rende les ancres beaucoup moins pesantes dans les grands vaisseaux, on peut néanmoins s'y conformer, parce que cette pesanteur est suffisante aussi-tôt que le fond dans lequel l'ancre doit s'engager n'est pas de pur sable fin, & qu'il est mêlé de terre & de vase. Lorsque le fond est mauvais, on a le soin d'employer plusieurs ancres, & quelquefois on garnit leurs pattes avec des planches, qui en s'engageant dans le sable, ou dans la vase, forment une plus grande résistance ; c'est ce qu'on nomme les *empeneler*, quoiqu'on employe plus souvent ce nom lorsqu'on met deux ancres à la suite l'une de l'autre. On charge aussi quelquefois l'ancre, ou l'extrémité inférieure du cable de divers poids; & enfin, ce qui est beaucoup plus ordinaire, & ce qui réussit presque toujours, on met plusieurs cables bout à bout. Ils frotent sur le fond

dans presque toute leur longueur, à cause de leur grande pesanteur; & ce frottement est cause qu'il ne tombe sur l'ancre qu'une partie beaucoup moindre de l'effort que fait le navire. On *ne mouille*, ou l'on ne jette l'ancre que dans les endroits où la mer n'a guere que 40 brasses de profondeur; encore est-il à propos, aussi-tôt que la profondeur de la mer approche de ce terme, de mettre toujours deux cables bout à bout l'un de l'autre; si l'on n'en mettoit qu'un, sa partie inférieure ne s'appuyeroit presque point sur le sol, & l'ancre seroit obligée de soutenir toutes les secousses qui se transmettroient jusqu'à elle. Elle ne se dégageroit pas entierement du fond, mais elle le laboureroit, ou elle *chasseroit*, pour parler en terme de Marine; & le navire pourroit aller se perdre sur les premiers écueils. La figure 33 doit rendre tout ceci plus sensible. AD est l'ancre au fond de la mer, & DMN est le cable qui retient le vaisseau, dont nous n'avons représenté que la proue; on voit en N le trou, ou *l'écubier*, par lequel passe le cable pour entrer entre les deux ponts inférieurs. Le cordage AB appliqué à l'encolure, ou à la croisée A, se nomme *l'orin*, qui sert quelquefois à lever l'ancre, à *la lever par les cheveux*, & qui sert aussi à retenir la *bouée* ou le tonneau vuide S, qui indique l'endroit où il faut chercher l'ancre. Mais pour revenir à ce que nous disions de la longueur du cable, il est clair que si cette longueur est deux ou trois fois plus grande, l'anere ne sera tirée qu'horisontalement, & le sera d'ailleurs avec moins de force, parce que l'effort sera diminué de tout le frottement que souffre la partie DM contre le fond. Ce sera précisément la même chose, que lorsqu'une longue corde traîne sur la terre; il ne faut à son extrémité qu'une très-petite pierre pour la retenir, lorsqu'on la tire par l'autre bout; parce que la seule résistance que fait la terre au mouvement de la corde, forme déja un très-grand obstacle.

Fig. 33.

Un second avantage, lorsqu'on met plusieurs cables au bout les uns des autres, c'est qu'ils se trouvent moins exposés à se rompre. Comme ils sont situés plus horisontale-

ment dans toutes leurs parties, leur force s'oppose plus efficacement ou plus directement au mouvement du navire produit par le choc des vagues : au lieu que lorsque le cable est moins long, il se trouve plus vertical, & il faut qu'il résiste davantage, parce qu'une plus grande partie de sa résistance se trouve perdue. Supposé que l'espace LO, représente la force avec laquelle le vaisseau tend à reculer, & qu'on acheve le rectangle LOPQ, qui ait la portion LP du cable pour diagonale, & qui soit formé par les deux lignes horisontales LO, PQ, & les deux verticales OP, LQ; la diagonale LP représentera l'effort que le cable doit soutenir, & on voit qu'elle est plus grande que OL, & que plus le cable approche d'être vertical, plus elle augmente, quoique OL ne change pas. Il est donc évident que le cable plus court est chargé d'un plus grand effort, & doit être plus gros & plus fort; car s'il n'avoit que la même grosseur, il ne fourniroit que la même résistance, selon sa propre direction; & il n'en fourniroit pas assez dans le sens horisontal, selon lequel le navire tend à s'éloigner. Il n'est question, il est vrai, que de résister à l'effort horisontal OL; mais le cable, à cause de son inclinaison, ne peut résister à cet effort, qu'en fournissant assez de force pour soutenir tout l'effort PL.

Fig. 33.

Le cable est encore moins exposé à se rompre lorsqu'il est plus long, parce qu'il est plus capable de s'étendre; & que cette nouvelle extension suffit souvent pour differer sa rupture, & pour l'éviter, en donnant le tems à l'effort que fait le navire de s'épuiser, ou de s'amortir. Un cable plus court n'étant pas capable d'un nouvel allongement, doit nécessairement se rompre aussi-tôt qu'il est exposé à un effort trop grand, parce qu'il faut qu'il soutienne tout cet effort & tout-à-coup: au lieu que le cable deux ou trois fois plus long, s'allonge de plusieurs toises avant qu'il y ait rien à craindre de sa part : il fait cependant de la résistance en s'allongeant, sa force élastique est mise en action, & la secousse du navire est souvent détruite & son effort consommé peu-à-peu, avant que le cable soit parvenu à son

Fig. 1. dernier terme d'extenſion. Ainſi le cable, principalement lorſqu'il eſt très-long, eſt comme une eſpece de reſſort dont une partie de la force conſiſte à ceder avec facilité, & à ſe remettre dans ſon premier état, auſſi-tôt que rien ne s'y oppoſe.

Enfin on peut éviter la perte du vaiſſeau par un dernier endroit, lorſqu'on met pluſieurs cables à l'extrémité les uns des autres. Non-ſeulement l'ancre eſt moins ſujette à *chaſſer*, non-ſeulement le cable eſt moins ſujet à ſe rompre; mais il y a encore moins à craindre pour le vaiſſeau même, lorſque les premiers accidens n'arrivent pas, & que cependant la mer eſt extrêmement agitée. Plus l'eau pouſſe le navire dans le ſens horiſontal ſelon PQ, ou OL, plus le cable eſt obligé de réſiſter dans le ſens de ſa direction. Mais la réſiſtance qu'il fait, ſe décompoſant, le navire ſe trouve tiré en bas en même-tems par la force relative verticale OP, ou LQ; & cette force eſt quelquefois aſſez grande pour faire plonger entierement la proue. Cette force verticale, qui eſt ſi redoutable, & que divers Marins n'ont que trop experimentée, ſans la connoître, doit augmenter ou diminuer, ſelon que les vagues frappent le navire avec plus ou moins de force; c'eſt-à-dire, que plus la proue eſt frappée par les vagues plus elle ſe plonge. Il eſt clair auſſi que ces deux forces ſont égales, la verticale PO & l'horiſontale PQ, lorſque le cable fait avec l'horiſon, en entrant dans le vaiſſeau, un angle de 45 degrés: Si le cable au contraire eſt beaucoup plus long & plus couché, la force verticale, qui dépend de l'autre, ſe trouvera beaucoup plus petite; elle ſera peut être trois ou quatre fois moins grande, & alors il y aura beaucoup moins à craindre.

Il ne reſte plus qu'à dire un mot de la maniere dont le cable eſt arrêté dans le Navire. On pourroit penſer qu'il l'eſt principalement par un nœud fait avec beaucoup de ſoin. Il eſt vrai que ſon extrémité eſt *amarée* en bas, crainte de tout évenement, dans l'endroit même du fond de cale où on le ſerre; il eſt vrai encore qu'il eſt ſaiſi par diverſes

cordes d'une médiocre grosseur qu'on nomme *bosses*, & qu'on *fouette* dessus, ou dont on l'entoure de distance en distance : mais il est principalement retenu par *les bittes*, qui sont deux pieces de bois verticales traversées par une troisieme placée horisontalement ; & il est arrêté par son frotement contre ces pieces de bois, sur lesquelles il fait quelques tours en les entrelassant. Tel est l'effet de la roideur du cable qui ne se plie qu'avec une extrême difficulté, à cause de sa grosseur, & qui ne pourroit glisser qu'en se pliant davantage. On juge assez que *les bittes* doivent être arrêtées fortement, & c'est pour cela qu'on les fait descendre jusqu'au fond du vaisseau.

CHAPITRE IV.

De la maniere dont les rames agissent.

QUELQUE simple que soit l'action des rames, il n'est pas aisé de l'expliquer ; je ne sache pas que depuis qu'Aristote s'y est trompé dans ses problêmes, on ait donné jusques à présent une explication entierement exacte de la méchanique de cet instrument. Le lecteur ne se convaincra aussi que trop que cette matiere contient des questions extrêmement embarrassantes, que personne n'a examinées jusques à présent, & qu'on ne peut les accommoder à notre portée qu'en éludant une partie de leurs difficultés ; tant il est vrai qu'il ne faut pas toujours juger des choses à la premiere vue. On ne s'est point servi de rames dans les plus grands navires, on ne les a employées que dans les plus petits; mais comme elles sont tellement propres à la navigation qu'on ne les trouve nulle autre part, nous ne croyons pas devoir les obmettre dans l'énumération, quoique succinte, que nous entreprenons de faire des apparaux. On peut se dispenser d'en faire la description, puisque tout le monde en connoît la figure, ainsi on

commencera par examiner à quelle espece de levier on doit les rapporter.

I.

C'est le Rameur qui fournit la force motrice; l'endroit de la rame qui porte sur le bord du navire, est immobile, & la pale en frappant l'eau, trouve une résistance que le Rameur ne sent que trop. Ainsi il paroît que dans la premiere action, ou que pour comparer l'effort du Rameur avec la résistance que trouve la pale en choquant l'eau, il faut considerer la rame comme un levier de la premiere espece, ou comme un levier dont l'hypomoclion, ou le point d'appui, est entre la puissance & le fardeau. La pale doit avancer contre l'eau, en la frappant avec plus de vitesse, jusqu'à ce qu'il se trouve équilibre entre la résistance qu'elle éprouve & l'effort du Rameur. Si les deux parties de la rame sont de même longueur, la partie qui est en dedans de la galere, & celle qui est en dehors; la résistance ou l'impulsion de l'eau sera égale à l'effort du Rameur: si la partie exterieure est deux fois plus grande, comme elle l'est souvent, il faudra en récompense que le Rameur fasse deux fois plus d'effort. Sachant par conséquent la longueur des deux parties de la rame, & l'effort que fait le Rameur, il est toujours facile de découvrir avec quelle force la pale rencontre l'eau.

Si le Rameur avoit un point fixe en l'air, s'il étoit possible qu'il se soutint au-dessus de la galere sans y toucher, nous convenons bien qu'il faudroit alors considerer son action comme appliquée à un levier de la seconde espece; ainsi que l'ont voulu le P. Fournier, & plusieurs autres personnes. La résistance de l'eau contre la pale fourniroit le point d'apui, pendant que le fardeau seroit représenté par le bord du navire qu'il s'agiroit de faire avancer; de sorte que l'action du Rameur se trouveroit avoir d'autant plus d'énergie, ou de moment, que toute la rame seroit plus longue par rapport à sa partie extérieure. C'est ce qui arriveroit, nous le repetons, si le Rameur avoit une position stable

ſtable en l'air : au lieu que l'explication n'eſt plus admiſſible auſſi-tôt que le rameur eſt ſoutenu par la galere & y tient ; on peut s'en convaincre aiſément en l'obligeant d'exercer toutes ſes forces ſur l'endroit même de la rame qui porte ſur le bord, ou ſur *l'apoſtis*. Car bien loin que ſon action ait ſon effet entier, comme dans le levier de la ſeconde eſpece, lorſque la puiſſance & le fardeau ſont à la même diſtance du point d'appui, elle n'en aura abſolument aucun, ou pour faire avancer le navire ou pour faire remuer la rame. Démonſtration inconteſtable que le point d'appui, ou l'hypomoclion, au lieu d'être à l'extrémité de la rame, eſt dans le point où elle porte ſur le flanc de la galere, & que le levier eſt de la premiere eſpece.

Mais on ne fait agir la rame que pour faire avancer le navire. Comment ce ſecond effet ſe produit-il ? il n'y a plus maintenant de levier à conſiderer. Le rameur étant tourné vers la poupe, tire à lui le bout de la rame, en ſe renverſant & en ſe jettant vers la proue ; & la pale avance en même tems vers l'arriere, en choquant l'eau avec force. Nous en ſommes reſtés à ce choc, qui eſt préciſément le même que ſi la pale étant immobile, l'eau venoit la rencontrer du côté de la poupe. Or toutes les impulſions que reçoivent en même tems les rames agiſſent dans le même ſens ; toutes les pales ſont pouſſées en même tems vers l'avant, & l'impulſion ſe communiquant à la galere, elle doit avancer & accelerer ſa vîteſſe, tant qu'elle eſt plus pouſſée par cette action de l'eau contre les rames, qu'elle n'eſt retardée par le choc de l'eau contre ſa proue. Quand le mouvement eſt une fois uniforme, il y a équilibre ou égalité entre ces deux forces ; c'eſt-à-dire, que la réſiſtance de l'eau contre la proue, ne retranche ni de plus grands ni de moindres degrés de la vîteſſe du ſillage, que ceux que tend à y ajouter le choc de l'eau contre les rames qui ſe fait en ſens contraire. Il ſuit de tout cela qu'on peut diviſer toute la Méchanique de la rame en deux actions. La rame eſt un levier de la premiere eſpece, tant qu'il s'agit de comparer l'effort du rameur avec la force

de l'impulsion de l'eau sur la pale, & c'est ce qu'avoit vu Aristote. Mais cette impulsion s'exerce ensuite toute entiere à faire avancer la galere sans l'intervention d'aucune machine qui l'altere : c'est précisement la même chose que si l'eau venoit de vers la poupe choquer les rames en les poussant vers l'avant ; & il est évident que cette impulsion doit avoir son effet.

Fig. 34. Dans la figure 34 le bord du navire est représenté par AB. Le rameur en tirant de F en *f* le bout de la rame FE, fait que la pale DE, en prenant la situation D*e*, est choquée par l'eau, comme si l'eau venoit la frapper selon la direction CG, & il y a équilibre de part & d'autre de *l'apostis* D, entre l'effort du rameur & l'impulsion que reçoit la pale. Cependant il faut remarquer qu'il y a une partie de la force du rameur perdue, & qui n'entre pas dans cet équilibre dont nous parlons. C'est la force qui est occupée à mouvoir la rame même. Ce retranchement étant fait il n'y a qu'à multiplier l'effort du rameur par la distance au point d'appui D, & on aura son moment, qui sera parfaitement égal à celui de l'impulsion de l'eau sur la pale, ou au produit de cette impulsion par la distance du centre dans lequel elle se réunit à l'hypomoclion. D'un autre côté cette impulsion que souffre la rame est égale à la résistance de l'eau contre la proue ; mais il faut faire réflexion que la rame n'agit que par reprise, au lieu que la résistance que fait l'eau contre la proue est continuelle. Le mouvement uniforme d'une galere, est donc un mouvement qui s'accelere à chaque coup de rame, & qui se ralentit dans l'intervalle suivant. Mais comme la somme des petites accelerations est égale à celle des petits retardemens, il se trouve toujours un parfait retour, ou une parfaite égalité, dans chaque acceleration successive, de même que dans chaque retardement.

L'action des Rameurs dans les galeres, peut se diviser à-peu-près en trois tems égaux, & il n'y en a qu'un qui est employé à frapper l'eau avec la pale. C'est-à-dire, que l'intervalle entre les *palades*, ou les coups de rames, est à-peu-près

double de la durée de chaque *palade*. Or comme l'impulſion de l'eau ſur les pales doit être égale à la ſomme de toutes les réſiſtances de l'eau contre la proue, ou comme il faut que l'impulſion de l'eau ſur les pales pendant une ſeconde, par exemple, reſtitue à la vîteſſe de la galere tout ce que lui a fait perdre la réſiſtance de l'eau contre la proue pendant trois ſecondes, il s'enſuit qu'il n'y a pas d'équilibre entre les deux forces dans chaque inſtant, mais ſeulement lorſqu'on les conſidere chacune pendant la durée entiere de leur exercice. Il n'eſt pas difficile de s'aſſurer que l'action ſimultanée de tous les rameurs eſt avantageuſe, & qu'on perdroit quelque choſe s'ils agiſſoient les uns après les autres, afin de pouſſer la galere ſans aucune interruption. Cependant on peut toujours ſuppoſer, à ce que je crois, pour rendre l'examen de ces choſes plus facile, que l'action eſt diſtribuée également dans toutes les parties du tems, afin d'avoir un équilibre actuel & continuel entre l'impulſion de l'eau ſur les pales & la réſiſtance de l'eau contre la proue. De trois ſecondes il n'y en a effectivement qu'une d'employée utilement à procurer la vîteſſe du ſillage; mais toute la chiourme agit à la fois : au lieu de cela il n'y a qu'à feindre qu'elle eſt diviſée en trois claſſes, & qu'il y en a toujours une qui agit dans chaque ſeconde, ſans laiſſer aucune partie de tems oiſive.

Fig. 34.

On peut, par la force avec laquelle travaille le rameur, juger de la grandeur de l'impulſion que reçoit la pale, comme nous l'avons déja dit : mais on peut auſſi déterminer la grandeur de cette impulſion d'une maniere immédiate, parce qu'on ſçait de quelle action eſt capable l'eau lorſqu'elle frappe ou qu'elle eſt frappée avec une vîteſſe connue. Il faut ſeulement faire attention que cette vîteſſe n'eſt pas celle que le rameur réuſſit à donner à la partie extérieure DG, & qu'il faut en retrancher la vîteſſe du ſillage. Car pendant que la rame paſſe de la ſituation FE à la ſituation *fe*, la galere avance peut-être de la quantité D*d*; la rame, au lieu de ſe trouver dans la ſituation *fe*, ſe trouve en $\varphi\varepsilon$; & au lieu de choquer l'eau avec la vîteſſe G*g*, ne le fait qu'a-

Fig. 34. vec la partiale Gγ. Il se presente ensuite une remarque extrémement importante ; c'est que cette vîtesse partiale Gγ est toujours une partie déterminée de Gg, ou de la vîtesse totale du centre G, de celle qui répond à la vîtesse Ff du rameur ; & que le rapport de l'une à l'autre dépend de celui qu'il y a entre la surface de la proue & l'étendue de toutes les pales. Si la galere va deux ou trois fois plus vîte, sa proue étant frappée par l'eau avec une vîtesse deux ou trois fois plus grande, & qui sera toujours réprésentée par Dd, ou $g\gamma$, recevra beaucoup plus d'impulsion, ou trouvera beaucoup plus de résistance : mais puisque cette résistance doit être égale au choc de l'eau contre les rames, il faudra que la vîtesse Gγ avec laquelle se fait ce choc, soit aussi deux ou trois fois plus grande. Ainsi c'est un théoreme, ou un lemme auquel on peut avoir recours, & qui doit être souvent d'usage, que *quelle que soit la vîtesse* Gg *que le rameur imprime au centre d'effort* G *de la pale, la vîtesse* γg *que reçoit la galere, & la vîtesse restante* Gγ *avec laquelle la rame frappe l'eau, ont toujours entr'elles le même rapport.*

II.

On est en état de distinguer maintenant les attentions qu'on peut avoir, de celles qu'on peut négliger dans la résolution de plusieurs problêmes qui se présentent sur ce sujet, & qui n'ont point été assez examinés, quoiqu'ils soient aussi curieux qu'utiles. Une rame étant donnée, on demande s'il faut l'appuyer par son point de milieu D, comme l'ont cru quelques personnes, pour que le rameur produise le plus grand effet possible. On a de fortes raisons d'en douter ; car si on rend la partie extérieure DG plus longue, supposant que le rameur ne travaille toujours qu'à lui faire parcourir le même espace Gg qu'auparavant, il ne sera point obligé d'en parcourir de son côté un si grand Ff : & ne se donnant pas de si grands mouvemens, il aura plus le tems d'insister, & d'exercer toute sa force, dont il faut effectivement qu'il déploye, pour ainsi dire, une plus grande partie dans chaque partie de l'espace, mais il en aura la facilité en agissant plus lentement. C'est ce

qui est aussi en quelque façon justifié par l'experience ; puisque pendant que la partie intérieure de la rame est de 12 pieds de longueur, on fait ordinairement la partie extérieure de 24 dans les galeres. Après tout, il faut avouer que nous ne pouvons pas résoudre la question d'une maniere utile pour la pratique, à cause de la trop grande généralité dans laquelle nous serions obligés de la laisser. Nous nous trouvons principalement arrêtés, parce que nous ne sçavons pas la relation qu'il y a entre les diverses vîtesses avec lesquelles le rameur peut travailler, & la force qu'il peut employer. Il seroit de la derniere importance dans plusieurs autres rencontres de connoître ce rapport, de connoître combien la force des hommes diminue, lorsqu'ils sont obligés d'agir avec plus de promptitude ; & c'est ce que l'Anatomie, quoiqu'extrêmement aidée de la Géométrie dans ces deniers tems, ne nous a point encore appris. On peut exprimer cette relation par les co-ordonnées d'une ligne courbe dont quelques-uns des symptômes se présentent aisément, mais cela n'empêche pas qu'elle ne soit également inconnue.

Fig. 34.

III.

Un autre problême plus facile & qui a aussi un rapport plus immediat à nos besoins, c'est lorsque la force du rameur & la vîtesse avec laquelle il peut agir, sont *données*, & qu'on demande les dimensions les plus avantageuses de la partie extérieure de la rame. La longueur de la partie intérieure doit être reglée sur la largeur du bâtiment & sur le plus grand espace que le rameur peut parcourir en se renversant après s'être penché en avant. Mais ce n'est plus le même cas que lorsque les dimensions de la rame étoient données ; car il est certain qu'il y a ici à gagner tant qu'on peut raccourcir la partie extérieure. La pale étant plus voisine du point d'appui, il faut qu'elle soit plus grande, & que son choc contre l'eau le soit aussi, pour faire équilibre avec l'effort du rameur qui est toujours le même ; or aussitôt que la pale choque l'eau avec une force totale, ou abso-

lue, plus grande, la galere ne peut pas manquer d'aller plus vîte. Supposé que Ff (Fig. 35.) soit le plus grand espace qu'on puisse faire parcourir à l'extrémité F, le centre d'effort G de la pale parcourera en même tems l'espace Gg: & il est clair que plus on raccourcira DG, plus il faudra donner d'étendue à la pale; autrement l'impulsion qu'elle recevroit en choquant l'eau avec moins de vîtesse & qui seroit appliquée outre cela à un bras de levier moins long, ne seroit pas capable d'épuiser l'effort des rameurs qui est constant. Si la partie extérieure DG est trois ou quatre fois plus courte, il faut augmenter la pale dans un assez grand rapport pour qu'elle reçoive trois ou quatre fois plus de choc absolu. Mais les rames étant ainsi poussées par l'eau avec une force trois ou quatre fois plus grande, la galeré doit nécessairement aller plus vîte; elle doit accelerer sa rapidité jusqu'à éprouver aussi trois ou quatre fois plus de résistance du côté de la proue. On seroit invité par conséquent à raccourcir sans cesse la partie extérieure de la rame, afin de pouvoir augmenter l'étendue de sa pale, sans qu'il y ait un terme qui arrête. Si pendant l'action des rameurs, la galere passe de D en δ, en parcourant l'espace Dδ égal à Gg, la rame se trouvera dans la situation $\varphi\delta$G, lorsque le rameur ne croyoit l'avoir mise que dans la situation fDg; & le centre d'effort G n'ayant réellement aucune vîtesse pour frapper l'eau, on ne pourroit suppléer à ce défaut qu'en faisant la pale infiniment large. Alors la partie extérieure de la rame seroit donc parvenue au terme de sa moindre longueur & à la disposition la plus avantageuse, à laquelle il est vrai qu'on ne peut pas atteindre, puisqu'il n'est pas possible de donner à la pale une largeur infinie. Cependant comme il est toujours à propos d'avoir en vue ce *minimum* de la longueur qui procureroit le *maximum* de la rapidité du sillage, nous allons tâcher de le déterminer.

Supposons que l'effort des rameurs distribué dans toutes les parties du tems & appliqué immédiatement à la galere sans le secours d'aucune machine, lui fasse parcourir

l'eſpace Dd ; c'eſt-à-dire que les rameurs étant à terre & tirant la galere par une corde avec le même force qu'ils l'employent ſur les rames, elle parcoure dans le tems déterminé cet eſpace Dd. L'effort des rameurs doit être exprimé par le quarré de cet eſpace : car la réſiſtance que trouve un corps à fendre un milieu, eſt quatre fois ou neuf fois plus grande, lorſqu'il ſe meut deux ou trois fois plus vîte. Cette réſiſtance eſt proportionnelle au quarré de la vîteſſe, comme on le montrera dans le troiſieme Livre ; & la force deſtinée à vaincre cette réſiſtance doit ſuivre le même rapport. On a donc $\dot{\overline{Dd}}$ pour l'effort abſolu ou actuel des rameurs, appliqué à l'extrémité F du bras FD de levier ; & pour ſçavoir l'impulſion de l'eau en G contre la rame qui eſt capable de faire équilibre avec cet effort actuel, on n'a qu'à faire cette analogie, DG eſt à DF, comme $\dot{\overline{Dd}}$ eſt à $\frac{DF \times \dot{\overline{Dd}}}{DG}$, pour l'action abſolue de l'eau contre la pale. Mais on ſouhaite que cette impulſion ſoit telle qu'elle imprime à la galere une vîteſſe Dδ, qui ſoit égale à celle Gg du centre d'effort de la pale : car on veut que la galere aille ſi vîte, que la pale ne choque point l'eau & qu'elle ne faſſe que s'appuyer contre ; puiſqu'on ſe propoſe de déterminer la moindre longueur de la partie extérieure DG. Or la rame en s'appuyant contre l'eau en G avec la force abſolue $\frac{DF \times \dot{\overline{Dd}}}{DG}$ doit donner à la galere une vîteſſe exprimée par la racine quarrée $Dd\sqrt{\frac{DF}{DG}}$ de cette force ; par la même raiſon que l'effort abſolu $\dot{\overline{Dd}}$ des rameurs, appliqué immédiatement à la galere, ne lui faiſoit prendre que la vîteſſe Dd. Ainſi on a $Dd\sqrt{\frac{DF}{DG}} = D\delta$; & il ne reſteroit donc plus qu'à connoître Dδ pour pouvoir obtenir le rapport de DF à DG. Mais le triangle DGδ étant ſemblable au triangle FDf, on a cette analogie ; DF eſt à Ff, comme DG eſt à Dδ, ou à $Dd\sqrt{\frac{DF}{DG}}$; & l'équation D d

Fig. 35.

Fig. 35. $\times DF \sqrt{\frac{DF}{DG}} = Ff \times DG$, qui élevée au quarré donne $\overline{Dd}^2 \times \frac{\overline{DF}^2}{DG} = \overline{Ff}^2 \times \overline{DG}^2$; & si on multiplie de part & d'autre par DG, & qu'on divise par $\overline{Ff}^2$, on aura $\overline{DG}^3 = \frac{\overline{Dd}^2 \times \overline{DF}^2}{\overline{Ff}^2}$, dont on tire $DG = DF \times \overline{\frac{Dd}{Ff}}\Big|^{\frac{2}{3}}$; & c'est ce qu'on vouloit découvrir.

Plus on approchera du terme indiqué par cette formule, en raccourcissant la partie extérieure de la rame, plus il faudra élargir la pale, ou augmenter sa surface, comme nous l'avons vu il n'y a qu'un moment, & plus la galere ira vîte, quoique les rameurs n'employent que la même force & n'agissent qu'avec la même vîtesse. Ainsi c'est sur la plus grande étendue qu'on peut donner commodément à la pale, qu'on doit tout regler. Au surplus la formule $DG = DF \times \overline{\frac{Dd}{Ff}}\Big|^{\frac{2}{3}}$ nous fournit quelques remarques très-utiles que la pratique & le long usage n'ont pas, à ce que je crois, encore suggerées, & qu'on peut regarder comme le principal fruit des recherches précédentes. On voit 1°. que les longueurs de la partie extérieure DG doivent être proportionnelles, lorsque toutes les autres conditions sont les mêmes, aux longueurs de la partie intérieure DF. On voit 2°. que plus la carene de la galere est fine, ou que lorsqu'elle est mieux taillée & plus propre à recevoir une grande vîtesse Dd, on doit rendre la partie extérieure de la rame plus longue; & qu'au contraire, dans les bâtimens pesans, dans ceux qui ne doivent jamais singler que lentement, on doit raccourcir cette partie. C'est ce qu'on doit faire dans ces derniers navires; parce que leur vîtesse retranche une moindre portion de la vîtesse avec laquelle la pale choque l'eau; ce qui donnant la liberté de raccourcir la partie extérieure de la rame, met en état de profiter de l'avantage qu'on trouve toujours à augmenter l'étendue de

la

la pale. Enfin 3°. Plus les rameurs sont robustes, ou en état de donner de vîtesse à l'extrémité F, plus il faut, & presque par la même raison, raccourcir la partie extérieure DG.

Quoique ce sujet si simple en apparence devienne plus compliqué, à mesure qu'on le considere avec plus d'attention, nous ne voulons pas, puisque l'occasion ne s'en présenteroit plus dans la suite, nous dispenser de déterminer la longueur [illegible]t il est à-propos de faire la partie extérieure de la rame, lorsque l'étendue de la pale sera *donnée* & rendue la plus grande qu'on pourra. La longueur que nous venons de découvrir est une limite ; mais nous devons toujours faire la partie DG effectivement plus longue. Je nomme a la vîtesse que l'effort des rameurs seroit capable d'imprimer à la galere, s'il lui étoit immédiatement appliqué sans l'intervention d'aucune machine. Cette vîtesse c'est celle qui étoit marquée par Dd dans la figure 35 ; nous pouvons donc, comme ci-devant exprimer par a^2 l'effort absolu que font les rameurs. Je nomme en même-tems b la vîtesse avec laquelle il faudroit que le centre G des rames se mût, pour que leur choc contre l'eau fût égal au même effort absolu. Ainsi si a & b n'expriment pas dans la figure 34 la vîtesse actuelle même Dd ou $g\gamma$ de la galere, & la vîtesse respective $G\gamma$ avec laquelle la rame choque actuellement l'eau, elles expriment au moins leur rapport, conformément au Théorême spécifié dans l'art. 1. Ces vîtesses a & b dépendent de la surface de la proue & de l'étendue des rames, sans qu'elles suivent pour cela la raison réciproque de ces surfaces. Si, par exemple, la surface plane qu'on peut considerer à la place de la surface courbe de la proue, parce qu'elle seroit sujette à la même impulsion de la part de l'eau, étoit quadruple de l'étendue totale que forment ensemble toutes les pales des rames, il ne seroit pas nécessaire que ces rames se meussent avec une vetîsse b quadruple de celle a de la galere, pour que les chocs absolus contre l'eau fussent égaux : il suffiroit

Fig. 34.

Fig. 34. qu'elles se meussent simplement deux fois plus vîte ; & cela parce qu'une vîtesse double suffit pour rendre l'impulsion 4 fois plus grande, & pour suppléer par conséquent à la moindre étendue de la surface, lorsqu'elle est quatre fois plus petite. Si la surface plane à laquelle se réduit la surface courbe de la proue est une fois plus grande que celle de toutes les rames, il suffira par la même raison que les rames se meuvent trois fois plus vîte. En général nommant P la surface plane équivalente à la surface convexe de la proue en fait d'impulsion, & R l'étendue totale des pales des rames, les vîtesses a & b seront comme $\frac{1}{\sqrt{P}}$ est à $\frac{1}{\sqrt{R}}$, ou comme $\sqrt{R}$ à $\sqrt{P}$.

Tout cela supposé, la ressemblance des triangles FDf & GDg, dans la figure 34, nous donnera $Gg = \frac{Ff \times DG}{FD}$; & puisque les vîtesses γg & $G\gamma$ sont comme a & b, nous pouvons faire (*componendo*) cette autre analogie ; $a+b \mid a \parallel Gg = \frac{Ff \times DG}{FD} \mid \gamma g = \frac{a}{a+b} \times \frac{Ff \times DG}{FD}$, pour la vîtesse actuelle de la galere. D'un autre côté nous avons vu que a^2 exprime l'effort des Rameurs, & il est évident que cet effort appliqué en F en doit produire un autre en G que nous trouverons par cette proportion ; $DG \mid DF \parallel a^2 \mid a^2 \times \frac{DF}{DG}$. Or c'est ce dernier effort qui se réunissant dans le centre G des pales, produit immédiatement la vîtesse actuelle Dd de la galere, en s'exerçant contre la résistance que trouve la proue à fendre l'eau. Il faut par conséquent prendre la racine quarrée $a\sqrt{\frac{DF}{DG}}$ de cet effort $(a^2 \times \frac{DF}{DG})$ pour avoir toujours, conformément à ce que nous avons dit, la vîtesse que nous sçavons déja être égale à $\frac{a}{a+b} \times \frac{Ff \times DG}{FD}$. Ainsi nous avons $a\sqrt{\frac{DF}{DG}} = \frac{a}{a+b} \times \frac{Ff \cdot DG}{FD}$ dont nous déduisons $DG = \frac{\overline{a+b}^{\frac{2}{3}}}{\overline{Ff}^{\frac{2}{3}}} \times FD$, *formule* qui satisfait à la question & qui

ne peut pas manquer de convenir aussi au cas particulier que nous avions déja résolu. Plus l'étendue R des pales sera grande, ou ce qui revient au même, plus on multipliera le nombre des rames, plus la vîtesse b sera petite & plus il faudra diminuer la longueur de la partie extérieure DG; & enfin si b pouvoit devenir nulle, alors DG deviendroit égale à $\overline{\frac{a}{Ff}}\Big|^{\frac{1}{2}} \times FD$, ainsi que nous l'avions trouvé.

Fig. 34.

Il ne nous reste plus qu'à faire remarquer qu'il suffit de supposer que le long usage a réussi à donner aux rames leur vraie longueur dans les galeres ordinaires, pour que nous puissions découvrir le rapport des vîtesses a & b avec Ff, sans être obligés de faire de nouvelles expériences; ce qui nous permettra de regler ensuite par comparaison la longueur des rames dans toutes les autres circonstances. Nous avons dit que la vîtesse a que recevroit le sillage si l'effort absolu des rameurs étoit immédiatement appliqué au Navire, peut s'exprimer par $\sqrt{\frac{1}{P}}$. C'est ce qui est vrai, si on suppose que le nombre des rameurs est toujours le même: mais si n marque le nombre des hommes dont la chiourme est formée, nous aurons $\sqrt{\frac{\frac{1}{3}n}{P}}$ ou $\sqrt{\frac{n}{3P}}$ pour la vîtesse a, parce que vu la résistance de l'eau qui change comme le quarré de la vîtesse du sillage, le plus grand ou le moindre nombre des rameurs ne doit imprimer à la galere qu'une vîtesse qui est comme la racine quarrée de ce nombre, ou de la force motrice: & nous n'employons que le tiers de n, parce que, comme nous l'avons reconnu dans le premier article, l'action des rameurs est à-peu-près la même que s'ils agissoient sans interruption, mais qu'il n'y en eût que le tiers qui agit dans chaque instant. D'un autre côté la vîtesse b qu'il faudroit que reçût le centre des pales des rames pour qu'elles souffrissent de la part de l'eau une aussi grande impulsion, doit être $\sqrt{\frac{n}{3R}}$, puisque cette vîtesse b est à la vîtesse a, comme $\sqrt{\frac{1}{R}}$ est à $\sqrt{\frac{1}{P}}$.

Fig. 34. Nous pouvons donc mettre $\sqrt{\frac{n}{3P}}$ & $\sqrt{\frac{n}{3R}}$ à la place de *a* & de *b* dans la formule $DG = \frac{\overline{a+b}^{\frac{1}{2}}}{\overline{Ff}^{\frac{1}{2}}} \times FD$: nous la changerons en $DG = \frac{\overline{\sqrt{\frac{n}{3P}} + \sqrt{\frac{n}{3R}}}^{\frac{1}{2}}}{\overline{Ff}^{\frac{1}{2}}} \times FD$; & il ne reste plus qu'à introduire dans cette derniere équation les valeurs de FD, de DG, de *n*, &c. telles que nous les fournissent les galeres ordinaires, pour pouvoir en déduire F *f*.

Il y a ordinairement 52 rames en tout sur chaque galere, & on met 5 hommes sur chaque rame. Les pales ont à-peu-près 5 pieds de longueur sur $\frac{1}{2}$ de large ; ce qui donne 2 $\frac{1}{2}$ pieds quarrés pour l'étendue de chacune & 130 pieds pour la surface des 52. Cela supposé, nous avons 260, le nombre d'hommes de la chiourme, pour la valeur de *n*, & 130 pieds quarrés pour celle de R. Nous avons déja averti que FD est de 12 pieds, & on peut supposer que l'effort moyen des rameurs est appliqué à 9 pieds de distance du point G. Ainsi FD doit être traité comme s'il étoit seulement de neuf pieds, pendant que DG est d'environ 21 $\frac{1}{2}$; ce qu'on trouve en retranchant de 24 pieds la demi-longueur 2 $\frac{1}{2}$ pieds de la pale. A l'égard de la surface plane P à laquelle se réduit la proue, elle est extrémement petite à cause de la grande saillie & du peu de profondeur de la carene, ce qui fait que la galere glisse sur l'eau avec une extrême facilité. Je crois qu'elle ne reçoit pas plus d'impulsion qu'une surface plane de 9 ou 10 pieds quarrés ; je prends ce dernier nombre pour la valeur de P. Or l'introduction de toutes ces grandeurs dans la formule, donne $1.\frac{01}{100}$ pour la valeur approchée de $\overline{Ff}^{\frac{1}{2}}$. Ainsi supposant que les rameurs font toujours un égal effort & agissent précisément avec la même vîtesse, nous n'avons qu'à employer continuellement cette valeur 1,01 de $\overline{Ff}^{\frac{1}{2}}$ & nous

Fig. 34.

aurons $DG = \frac{\left(\sqrt{\frac{n}{3P}} + \sqrt{\frac{n}{3R}}\right)^{\frac{1}{3}}}{1.01.} \times FD$ pour la longueur qu'il faut donner à la partie extérieure de la rame par rapport à la partie intérieure, dans tous les différens cas; c'est-à-dire quel que soit le nombre n d'hommes dont la chiourme est formée, quelle que soit la grandeur R de la surface totale que font ensemble les pales des rames, & quelle que soit aussi la surface plane P à laquelle on peut supposer que se réduit la proue.

Mais nous pouvons rendre cette solution encore plus générale; car au lieu de supposer que l'interruption de l'action des rames fait perdre les $\frac{2}{3}$ du tems, comme dans les galeres ordinaires, nous pouvons supposer qu'il n'y a que le $\frac{1}{4}$ ou la cinquieme partie du tems; &c. qui soit employée utilement, & désigner généralement cette fraction par $\frac{1}{f}$;

ce qui changera la formule $DG = \frac{\left(\sqrt{\frac{n}{3P}} + \sqrt{\frac{n}{3R}}\right)^{\frac{1}{3}}}{1.01} \times FD$ en cette autre $DG = \frac{\left(\sqrt{\frac{n}{fP}} + \sqrt{\frac{n}{fR}}\right)^{\frac{1}{3}}}{1.01} \times FD$ qui est d'une application beaucoup plus étendue. Si l'on donne, par exemple, 120 rameurs à un navire de bas bord, & que divisant le tems en quatre parties, il n'y en ait qu'une pour la durée des *palades* : supposé de plus que toutes les rames forment ensemble une surface de 75 pieds quarrés, pendant que la surface de la proue est équivalente, quant à l'impulsion qu'elle reçoit, à un plan de 15 pieds quarrés, on aura DG $= \frac{\left(\sqrt{\frac{120}{4 \times 15}} + \sqrt{\frac{120}{4 \times 75}}\right)^{\frac{1}{3}}}{1.01} \times FD = \times \frac{1.61}{101} \times FD$; de sorte que si la partie FD est de 10 pieds, ou plutôt si l'effort des rameurs est appliqué à 10 pieds de distance du point D, il faudra que le centre d'effort des pales soit environ 15 pieds 11 $\frac{1}{2}$ pouces en dehors du navire, ou que DG soit de cette quantité.

IV.

Jusques à présent on n'a appliqué les rames avec succès qu'aux seuls navires de bas bord, quoiqu'on ait senti combien il seroit important de pouvoir les appliquer aussi dans certains cas aux vaisseaux proprement dits. La hauteur de ces derniers a rendu inutiles les différentes tentatives qu'on a faites de tems en tems pour tâcher de leur procurer ce secours. On a principalement insisté sur ce que les rames fussent tournantes comme les rames des moulins à eau; mais comme on n'a pas pu leur donner assez de vîtesse, elles n'ont point eu d'effet, ou n'en ont eu que très-peu. Il semble qu'on ne peut corriger ce défaut qu'en donnant à la rame la forme représentée dans la figure 36, ou quelqu'autre équivalente. La pale ABCD auroit ses côtés de 5 à 6 pieds, ou même de 8, ou de 10; & comme elle entreroit verticalement dans l'eau, elle offriroit au choc une surface dont l'étendue seroit depuis 25 ou 30 pieds quarrés jusqu'à 100; un petit nombre de pareilles rames, si elles étoient mûes avec promptitude, seroit très-capable de vaincre la résistance de l'eau contre la proue, qui à cause de sa convexité & de sa saillie, souffre beaucoup moins d'impression qu'une surface plane de même hauteur & de même largeur.

Fig. 36.

Cette pale seroit formée d'especes de portes qui auroient la liberté de s'ouvrir en dehors d'environ 25 ou 30 degrés, comme des soupapes; mais qui ne pouroient pas passer en dedans, arrêtées qu'elles seroient par le chassis ABCD. Le levier de la rame seroit coudé & s'appuyeroit en F en quelqu'endroit du bord du vaisseau; & comme on ne peut pas rendre son bras FG assez long, & que cependant il est nécessaire de faire agir dessus 30 ou 40 matelots, il n'y auroit qu'à mettre en travers *des barres* IH, LK, &c. à chacune desquelles on appliqueroit 8 ou 10 rameurs; de cette sorte la longueur qu'on donneroit à la partie intérieure FG ne seroit jamais assez grande pour que l'espace parcouru par l'extrémité G, excedât la hauteur d'un

homme. Ces rames feroient fituées à la poupe, où l'on en pourroit mettre deux, & rien n'empêcheroit auffi d'en placer fur les flancs du navire, en les fituant obliquement. Lorfqu'on eleveroit le levier FG, la pale s'approcheroit de la carene, & ne frapperoit prefque point l'eau; parce que les portes s'ouvriroient, & qu'on agiroit outre cela avec lenteur. Mais les rameurs chargeant enfuite tout-à-coup le levier avec tout leur poids, les portes ou les foûpapes fe fermeroient, & la pale en s'éloignant, frapperoit l'eau avec une force qui ne manqueroit pas de faire avancer le navire. Ce n'eft, à ce que je crois, que par cette feule difpofition qu'on peut procurer affez de vîteffe à la rame, ou lui donner cette efpece de *faccade* qui eft néceffaire pour qu'elle produife quelque effet.

Fig. 36.

J'avoue qu'il faudroit, dans les navires dont le bord eft fort élevé, que le bras extérieur de la rame fût fort long, pour que la pale plongeât fuffifamment dans la mer, tant qu'on prend le point F pour point d'appui. Il vaudroit peut être mieux faire fortir alors du navire, par les fenêtres de fa poupe, quelques pieces de bois fur l'extrémité defquelles on appuyeroit le point O de chaque rame. Alors les rameurs, au lieu de pefer fur les barres HI, KL, &c. les poufferoient horifontalement en avant en fe jettant vers la proue: & il faudroit dans ce cas que l'angle E fût fujet à s'ouvrir un peu, par le moyen d'une efpece de charniere. Je n'infifte point fur l'affemblage de ces diverfes parties, ni fur la maniere de faire en forte qu'elles fe montent & fe démontent aifément: tout cela regarde les ouvriers. Les perfonnes expérimentées dans la marine voyent auffi affez que comme ces rames ne peuvent guere fervir à faire gouverner le navire, il faudroit ordinairement que la chaloupe mife à la mer précédât le vaiffeau & le dirigeât en le tirant vers le côté où il s'agit d'aller.

CHAPITRE V.

Des proportions qu'on suit ordinairement dans la mâture des vaisseaux.

NOUS pouvons maintenant nous élever à la considération de la mâture, & expliquer les dimensions de ses principales parties. Tous les vaisseaux, les frégates, les flûtes, &c. ont quatre mâts principaux. *Le grand mât*, qui se met au milieu du navire, est le premier. Le mât de *mizaine*, qui se met vers la proue, très-près de l'extrémité de la quille, est le second, & il ne differe qu'assez peu du grand mât, par sa hauteur; le troisieme est le *beaupré*, qui au lieu d'être vertical, comme les autres, est incliné en avant & sort du navire par la proue, en s'appuyant sur l'étrave; le quatrieme est l'*artimon* qui manque quelquefois dans les plus petits navires & qui se place vers la poupe. Son nom est encore tout Grec; mais je crois que les anciens nommoient artimon le mât que nous nommons maintenant de *mizaine*.

Au-dessus de ces mâts on en met d'autres qu'on nomme ordinairement mâts de hune; c'est au moins le nom de ceux qu'on met au-dessus des deux premiers, c'est-à-dire du grand, & du mât de mizaine; l'un est *le grand mât de hune*, où le mât *du grand hunier*, & l'autre est *le petit mât de hune*, ou le *mât du petit hunier*. Mais le mât d'artimon étant considérablement plus petit, on nomme toujours celui qu'on éleve au-dessus, le mât de *perroquet de fougue*; pendant qu'on ne donne le nom de *perroquet* qu'aux plus petits mâts qu'on éleve encore au-dessus du grand mât & du mât de mizaine, & qu'on place au-dessus des huniers. Ainsi l'artimon n'est ordinairement formé que de deux mâts, sçavoir de celui d'enbas, qui est le mât d'artimon proprement dit, & du mât de perroquet de fougue qui s'ente au-dessus;

dessus; au lieu que le grand mât & le mât de mizaine sont formés de trois parties; le mât d'en bas, auquel appartient privativement le nom de grand mât, ou de mât de mizaine; les mâts de grand & de petit hunier qui sont au-dessus, & les mâts de grand & de petit perroquet qui sont encore plus haut. Dans les petits navires, qui n'ont point d'artimon, le mât de mizaine se trouve au milieu des deux autres, & c'est de cette situation dont il a pris son nom, que nous avons emprunté des Italiens.

Tous ces mâts ont leurs voiles particulieres, & nous en avons dit le nom d'avance; s'il s'agit du grand mât, *la grande voile* est la plus basse; *le grand hunier* est au-dessus, & *le grand perroquet* encore plus haut. Dans le second mât, *la mizaine* est la plus basse, au-dessus est le *petit hunier*, & plus haut *le petit perroquet*. La voile d'artimon se nomme souvent *voile latine*, & on nomme ainsi toutes les voiles qui, au lieu d'être quadrangulaires, ne sont que triangulaires, apparemment parce que nous en avons pris l'usage des Italiens, ou des Lévantins. La voile du beaupré prend aussi un nom particulier, on la nomme *civadiere*, & ce nom est Espagnol (*cevadera* *). Toutes ces voiles sont soutenues par les *vergues* qui sont de longues pieces de bois placées horisontalement, & qui traversent les mâts; chaque vergue prend le nom de la voile qu'elle soutient.

* La civadiere étant fort avancée hors du vaisseau, & descendant presque jusqu'à la surface de la mer, sa figure l'a fait comparer au sac qu'on attache quelquefois à la tête des chevaux, dans lequel on met l'orge (*cevada*) dont on les nourrit en Espagne.

On voit toutes ces choses dans la figure 37. qui représente toutes les voiles lorsqu'elles sont *déferlées*, ou exposées au vent. Les trois du grand mât sont marquées par A, B, C; la grande voile, le grand hunier & le grand perroquet. Le mât de mizaine a aussi ses trois voiles; la mizaine proprement dite D, ou *le bourcet*, son hunier E, ou le petit hunier, & le petit perroquet F. La voile de beaupré est marquée par G, & c'est la civadiere. L'artimon n'est point *déferlé*, il est serré; mais on voit au-dessus I le perroquet de fougue. Il y a encore quelques autres voiles que nous n'avons point représentées ici: comme sont celles *d'étay* & *les focs*. On nomme *étay* tous les cordages qui partant de la tête des mâts, viennent se rendre au beaupré, & les empê-

Fig. 37.

chent de tomber en arriere. Ces cordages soutiennent des voiles triangulaires, dont la plus grande, qui est suspendue au grand étay KL, se nomme la *voile d'étay*, & les autres de la même espece se nomment *focs*. On voit dans la même figure les mâts & les vergues qui appartiennent à chaque voile. Vers le haut de chaque mât inférieur il y a *la hune* ou *la gabie*, comme parlent les Lévantins, qui est comme une petite galerie, ou tribune ronde; toute la partie du même mât qui est au-dessus de la hune, se nomme le *tenon*, à cause de son usage; elle sert à maintenir l'autre mât qui est au-dessus. Cette partie est surmontée par un billot de bois nommé *chouquet*, qui a une échancrure en demi-cercle, pour recevoir le mât supérieur.

Proportions des mâts inférieurs, & de leur application.

Le grand mat se met au milieu de la longueur totale du vaisseau, prise du haut de l'étambot au haut de l'étrave, ou si on ne le place pas exactement dans ce point, on fait ensorte que toute sa grosseur soit en arriere du milieu. Presque tous les Constructeurs s'accordent en cela; mais ce n'est pas absolument la même chose à l'égard des autres mâts : quelques-uns mettent celui de mizaine précisément à l'extrémité de la quille, au lieu que quelques autres le reculent un peu, comme d'une quarantieme ou d'une cinquantieme partie de toute la longueur du vaisseau, pendant que d'autres au contraire le font un peu avancer sur l'étrave. Le mât de beaupré, on l'incline ordinairement assez, pour qu'il fasse un angle d'environ 35 degrés avec l'horison. Enfin on place l'artimon à environ les trois seiziemes de la longueur totale du navire de distance du haut de l'étambot. Si le vaisseau a 160 pieds de longueur totale, on met l'artimon à 30 pieds de distance de l'étambot.

On donne ordinairement en France, de longueur au grand mât deux fois & demie la largeur du navire; au lieu que les Anglois rendent ce mât un peu moins long, en ne le faisant que de deux largeurs du vaisseau, & deux cinquiemes. Ainsi supposé que le navire ait 40 pieds de lar-

geur, nos conſtructeurs donneroient au grand mât 100 pieds de hauteur; mais les Anglois ne lui en donneroient que 96. Les Hollandois font encore cette hauteur un peu plus grande que nous, quoiqu'ils conviennent auſſi avec toutes les autres nations à la régler, de même que la longueur de tous les autres mâts, ſur la ſeule largeur du vaiſſeau. Le tenon, ou cette partie qui eſt au-deſſus de la hune, a toujours de longueur la dixieme partie de celle du mât.

Le diametre du grand mât, au travers du premier pont, ou du pont inférieur, contient toujours autant de pouces que les trois quarts du maître bau contiennent de pieds; ou ce qui revient au même, ce diametre eſt la quarantieme partie de la longueur du mât. Dans la ſuppoſition que nous venons de faire, le grand mât doit avoir 30 pouces de diametre; & à ſon extrémité d'en haut il doit en avoir 20: car c'eſt une regle générale que tous les grands mâts & les mâts de mizaine n'ayent par leur extrémité ſupérieure que les deux tiers de leur plus grande groſſeur.

Je me fais violence, je l'avoue, pour rapporter en détail toutes ces regles, qui ne ſont nullement fondées en raiſon, & qui ne ſont propres qu'à être refutées. Le mât de mizaine a ſa hauteur égale à deux fois & un quart la longueur du bau, & ſon diametre, au travers du premier pont, qui eſt l'endroit où il eſt le plus gros, de même que les autres mâts inférieurs, eſt environ la trente-neuvieme partie de ſa longueur. D'autres conſtructeurs retranchent une dixieme partie de la hauteur du grand mât, pour avoir celle du mât de mizaine.

Le mât de beaupré a de longueur une fois & demie le bau, & ſon diametre vis-à-vis du haut de l'étrave, eſt la vingt-ſeptieme partie de ſa longueur. Si la largeur du navire eſt de 40 pieds, le beaupré aura donc 60 pieds de longueur, & 26 $\frac{2}{3}$ pouces de diametre dans la plus grande groſſeur. Par en haut, on ne lui donne de diametre que la moitié.

Enfin le mât d'artimon a ſa longueur égale à une fois le bau & trois quarts, pendant que ſon plus grand diametre

eſt d'autant de pouces que les 7 ſciziemes du bau contiennent de pieds ; diſons mieux : ce mât a de plus grande groſſeur la quarante-huitieme partie de ſa longueur, & il a par en haut la moitié de cette groſſeur.

Proportions des mâts ſupérieurs.

Il nous faut maintenant paſſer aux mâts ſupérieurs ; le grand mât de hune, qui ſe place au-deſſus du grand mât, a ordinairement de longueur un bau & demi ; de ſorte que ſa longueur eſt égale à celle du beaupré ; mais il a moins de groſſeur : ſon plus grand diametre n'eſt qu'environ la quarante-troiſieme partie de ſa longueur.

Le mât de petit hunier, qui ſe place au-deſſus du mât de mizaine, a de longueur un bau & trois huitiemes ; & ſon plus grand diametre eſt environ la quarante-troiſieme partie de ſa longueur.

Le mât de perroquet de fougue, qui s'ente au-deſſus de l'artimon, a la moitié de la longueur & de la groſſeur du grand mât de hune.

Le mât de grand perroquet a les cinq douziemes de la longueur du grand mât de hune, au-deſſus duquel on le met, & il a la moitié de ſa groſſeur : au lieu que le mât de petit perroquet a de longueur les quatre ſeptiemes du petit mât de hune, & la moitié de ſa groſſeur.

Le mât de perroquet de beaupré, qui ſe place immédiatement & verticalement au-deſſus du beaupré, a de longueur les deux cinquiemes du maître bau ; & ſa groſſeur ſe fait ordinairement d'autant de pouces qu'il y a de pieds dans les ſept trente-ſixiemes du bau ; c'eſt-à-dire qu'on la fait d'un peu moins que la vingt-cinquieme partie de la longueur.

Proportions des vergues.

Nous ne pouvons pas nous épargner le reſte du détail, puiſque nous l'avons commencé. La grande vergue qui ſoutient la grande voile, & qui eſt appliquée vers le haut du grand mât, a ordinairement de longueur deux fois le

bau & une ſixieme partie. Sa plus grande groſſeur eſt au milieu ; elle y a autant de pouces de diametre que les deux tiers du bau contiennent de pieds, ou ce qui revient au même, elle a de diametre la trente-neuvieme partie de ſa longueur. Les vergues ont une figure fort différente des mâts : elles ſe terminent preſque en pointe aux deux extrémités, où elles n'ont que le tiers de leur plus grande groſſeur.

La vergue du grand hunier a de longueur un bau & un quart, & elle a de groſſeur la moitié de celle de la grande vergue.

Encore plus haut eſt la troiſieme vergue, pour ſoutenir la troiſieme voile, celle de grand perroquet. Cette vergue a de longueur les trois quarts du bau, & de groſſeur la moitié de celle du grand hunier, ou le quart de celle de la grande vergue.

La vergue de mizaine a de longueur exactement deux baux, & ſa plus grande groſſeur a autant de pouces de diametre que les cinq huitiemes du bau contiennent de pieds.

La vergue du petit hunier, qui eſt au-deſſus de la mizaine, a de longueur un bau & un ſixieme ; & ſa groſſeur eſt le plus ſouvent les ſept quinziemes de celle de la vergue de mizaine.

La vergue de petit perroquet, qui eſt plus haut, eſt longue des deux tiers du bau ; & ſa groſſeur eſt la moitié de celle de la vergue du petit hunier.

La vergue de civadiere a ordinairement de longueur un bau & un quart, & ſa plus grande groſſeur, qui eſt toujours au milieu, eſt d'autant de pouces que le tiers du bau contient de pieds; de ſorte qu'elle n'a de groſſeur que la moitié de celle de la grande vergue.

La vergue du perroquet de beaupré a de longueur les trois quarts du bau, & ſa groſſeur eſt les ſept ſeiziemes de celle de la vergue de civadiere.

La vergue d'artimon eſt inclinée, à cauſe de la figure triangulaire de ſa voile, & elle eſt l'hypotenuſe de ce triangle qui eſt rectangle : ſa longueur eſt de deux baux. Sa

plus grande grosseur a autant de pouces de diametre que le tiers du bau a de pieds. Le bout d'en bas a les deux tiers de cette grosseur, & celui d'en haut le tiers.

La vergue du perroquet de fougue a de longueur les trois quarts du bau, & de grosseur la moitié de celle de la vergue d'artimon.

Toutes les voiles sont suspendues par leurs vergues, y étant fortement liées par des cordages qu'on nomme *rabans*, & leurs deux angles d'en bas, au moins dans les voiles supérieures, s'appliquent vers les extrémités des vergues qui sont au-dessous, & qui servent à soutenir les voiles inférieures. Cette disposition ne peut pas avoir lieu à l'égard du perroquet de fougue, à cause de l'inclinaison de la voile d'artimon; mais on met une autre vergue qu'on nomme *seche*, qui n'a d'autre usage que de le retenir par en bas. Cette vergue, que nous n'avons pas manqué de représenter dans la Fig. 37, a de longueur un bau & un quart, pendant que sa grosseur est la moitié de celle de la vergue d'artimon, ou est égale à celle de la vergue supérieure.

De la figure qu'on donne aux mâts & aux vergues.

Les lecteurs sçavent assez que les mâts, de même que les vergues sont ronds, qu'ils sont comme cylindriques, ou coniques; mais ils ne sçavent peut-être pas tous que les côtés n'en sont pas des lignes droites. Le plus souvent les Mâteurs donnent à ces côtés la courbure d'un arc d'éllipse. Voici la maniere dont ils tracent cet arc, en se conformant à leur méthode ordinaire des *réductions*.

Fig. 38. Ils forment le triangle équilateral ACB (Fig. 38.) dont les côtés sont égaux au plus grand diametre du mât, ou de la vergue qu'ils se proposent de faire. Des points A & B, comme centre, ils décrivent les deux arcs de cercle BC, & AC, & ils portent ensuite en EF parallelement à AB, le plus petit diametre du mât ou de la vergue. S'il s'agit d'un mât, EF est ordinairement les deux tiers de AB, & il n'en est que le tiers, s'il est question d'une vergue. Après

cela ils partagent la hauteur DG, en autant de parties égales qu'ils se proposent de trouver le diametre du mât en divers endroits de sa longueur ; & ils tirent par les points de division des paralleles MN, OP, &c. aux deux premieres. Il ne leur reste plus ensuite qu'à diviser la longueur du mât en autant de parties égales qu'ils ont divisé DG, & transportant successivement toutes les largeurs EF, MN, &c. perpendiculairement à l'axe du mât vis-à-vis de ses points de divisions, ils ont les diametres que doit avoir le mât en chaque endroit. Il est évident que les Constructeurs donnent par cette opération aux côtés du mât, la courbure d'un arc d'éllipse. Mais ont-ils quelque raison de préferer cette courbure ? On peut assurer qu'ils se sont déterminés ici, comme on a vu qu'ils l'ont fait souvent ailleurs, par la plus grande facilité qu'ils ont trouvé à tracer certaines courbes. Nous dirons un mot, dans la section suivante, de la vraie figure qu'il faudroit donner aux mâts & aux vergues.

CHAPITRE VI.

Remarques & expériences sur les regles précedentes, avec le moyen de rendre ces regles moins imparfaites.

I.

IL est assez facile de juger que les dimensions des voiles sont reglées sur la hauteur des mâts, & sur la longueur des vergues dont nous venons de parler. Leur largeur par en haut, ou leur *envergure*, est un peu moins grande que la longueur de la vergue à laquelle elles sont suspendues; leur largeur par en bas, ou leur *bordure*, est de même un peu moins grande que la longueur de la vergue inférieure, à laquelle leurs deux angles, ou leurs *deux*

points viennent ſe rendre ; & leur hauteur, qu'on nomme ordinairement *leur chûte*, eſt à-peu-près égale à la hauteur de leur mât. Il n'y a que *la chûte*, ou la hauteur des baſſes voiles qui en eſt fort différente, à cauſe de toute la partie de la hauteur des mâts que retranche le corps du navire. Dans les vaiſſeaux du premier rang, qui ont 48 pieds de largeur, le grand mât a 120 pieds de hauteur, & on ne peut cependant donner au plus que 55 pieds de *chûte*, ou de hauteur à la grande voile.

Le grand mât ayant ſeul 120 pieds de hauteur, & étant encore ſurmonté du grand mât de hune qui a 72 pieds, & du mât de perroquet qui en a 30, on voit la grande élévation qu'a la mâture. C'eſt la même choſe à proportion dans les plus petits navires ; & ſi les Marins faiſoient attention à ce qui ſe paſſe de tems en tems ſous leurs yeux, ils ſe convaincroient aiſément qu'il n'y a que de l'avantage à diminuer cette hauteur prodigieuſe, en gagnant, s'ils le vouloient, ſur la largeur des voiles, ce qu'ils perdroient ſur l'autre dimenſion. Une voile très-petite, mais placée à une très-grande hauteur, fait plus d'effort pour faire incliner le navire, que pour le faire ſingler ; parce qu'appliquée à un long bras de levier, elle a un grand moment par rapport au centre de gravité du vaiſſeau : au lieu qu'une voile plus grande, mais appliquée moins haut, travaille moins à produire l'inclinaiſon ; & cela n'empêche pas qu'elle ne faſſe tout ſon effet, par rapport à la viteſſe du ſillage qu'elle accelere. C'eſt ce que j'ai tâché de prouver dans un Traité exprès, où j'ai entrepris de ſubſtituer aux regles tâtonneuſes & groſſieres, expoſées dans le chapitre précédent, des maximes préciſes & exactes, tirées de la méchanique même des mouvemens des vaiſſeaux, & de l'examen particulier de leur figure. Tout ce que les Marins peuvent dire pour défendre leurs regles, c'eſt qu'elles ſont autoriſées de l'expérience & du conſentement, pour ainſi dire, de toutes les nations ; mais on peut aſſurer malgré cela que l'expérience eſt plus contraire à ces mêmes regles, qu'elle ne leur eſt favorable. Il arrive tous les jours qu'un

qu'un vaiſſeau étant démâté en mer, on ne peut remplacer ſes voiles que par d'autres beaucoup plus petites; & que cependant ſon ſillage eſt auſſi rapide, que lorſque ſa mâture avoit ces énormes dimenſions, que le mauvais uſage qui regne actuellement lui fait donner. Lorſqu'on a voulu au contraire augmenter encore la mâture de quelques navires, ils ont infailliblement perdu de leur marche. C'eſt ce qui arriva, par exemple, il y a quelques années, au vaiſſeau du Roi *le Content*, ſur lequel on voulut outrer un peu les regles ordinaires, ou peut-être ſeulement les obſerver plus dans la rigueur, & qui perdit auſſi-tôt une partie de ſes avantages *. Marques certaines que la mâture eſt hors des meſures, & qu'elle eſt déja beaucoup trop grande.

* Voyez ce qu'en dit le P. Laval. Voyage de la Loüiſiane, page 179.

I I.

Mais les regles ordinaires ne pêchent pas ſeulement parce qu'elles donnent trop d'élevation à la mâture, elles ont encore un vice intérieur & ſecret, parce qu'elles n'expriment pas même la loi que doivent ſuivre les dimenſions de la voilure dans les différens navires. Si un vaiſſeau eſt deux fois moins long, deux fois moins large, &c. on donne conſtamment à ſa voilure deux fois moins de hauteur, & deux fois moins de largeur; & cependant il eſt très-facile de reconnoître que le petit navire, vu le ſyſtême ordinaire de la mâture, qui admet que les vaiſſeaux s'inclinent, pourvu que l'inclinaiſon ne devienne pas exceſſive, doit en porter beaucoup moins à proportion que le grand. Le navire dont toutes les dimenſions ſimples ſont deux fois plus petites, a huit fois moins de ſolidité, ou peſe huit fois moins; & comme c'eſt ſa peſanteur qui s'oppoſe à l'effort que fait le vent pour le faire verſer, ou au moins pour le faire incliner dans les routes obliques, il doit avoir huit fois moins de force abſolue pour ſoutenir la voile. Mais cette même force qui eſt huit fois plus petite, ſe réunit dans le centre de gravité, & eſt appliquée deux fois moins avantageuſement, puiſque toutes les dimenſions

ſimples du navire étant deux fois plus petites, ſon centre de gravité eſt auſſi deux fois moins bas, ou par rapport au pont, ou par rapport à la ſurface de l'eau. Ainſi la force rélative avec laquelle la peſanteur du navire s'oppoſe à l'effort du vent, eſt ſeize fois moins grande. Pour juger par conſéquent de la bonté ou du défaut des regles ordinaires, il n'y a qu'à voir ſi elles font diminuer auſſi ſeize fois la force relative qu'a le vent pour renverſer dans les routes obliques, un navire deux fois plus petit. Si elles produiſent préciſément la même diminution, elles ne détruiront point l'équilibre; ce ſera une marque qu'elles ſont parfaites, ou qu'il faut continuer à faire la mâture proportionnelle aux autres dimenſions des vaiſſeaux. Mais lorſqu'on donne deux fois moins de hauteur, & deux fois moins de largeur aux voiles du navire deux fois plus petit, l'étendue de leur ſuperficie ne diminue que quatre fois; ce qui ne rend l'effort abſolu que quatre fois moindre. Il eſt vrai que le centre de cet effort ſera auſſi deux fois moins élevé au-deſſus du vaiſſeau, & appliqué par conſéquent à un bras de levier deux fois moins long: mais tout conſidéré, la force relative qui tend à faire renverſer le navire, ne ſera diminuée que huit fois; pendant que la force contraire, la réſiſtance formée par la peſanteur du vaiſſeau, ſera, comme nous l'avons vu, diminuée ſeize fois. Il eſt donc clair que la force du vent prévaudra, & qu'elle ſera deux fois trop grande: ainſi ſi la mâture du grand vaiſſeau eſt bien diſpoſée, celle de l'autre ne le ſera pas; le petit navire ſera expoſé à verſer.

Pour le dire d'une maniere plus générale, mais en négligeant toujours quelques conſidérations auſquelles nous aurons égard dans la ſuite, la force relative avec laquelle le vaiſſeau s'oppoſe à l'effort du vent, diminue comme le quarré de ſa quille, ou de la longueur de ſon bau; puiſque la peſanteur, ou la force abſolue diminue comme le cube, & que cette force eſt appliquée à un bras de levier moins long. Mais tant qu'on s'aſſujettit aux regles vulgaires, l'effort relatif du vent, ou le moment ne diminue

que comme le cube de la quille, ou comme le cube de la largeur du navire; puisque la force absolue du vent, qui est proportionnelle à l'étendue des voiles, ne diminue que comme le quarré; & que la hauteur des mâts, qui sert de bras de levier à cette force, ou qui est au moins proportionnelle à la longueur de ce levier, ne diminue que comme la quille, ou comme le bau. Ainsi dans les petits navires, la force qu'ils ont pour soutenir la voile, diminue toujours en plus grand rapport; que l'effort relatif que fait le vent pour les renverser : s'il y avoit par conséquent équilibre entre ces deux forces dans les plus grands vaisseaux, l'équilibre ne doit plus subsister dans les moindres; la premiere force se trouvant ensuite trop petite, & l'effort du vent trop grand. Il suit de-là que les regles ordinaires sont tout-à-fait défectueuses, & qu'elles doivent être au moins sujettes à l'un ou à l'autre de ces deux inconvéniens; ou d'être cause qu'on ne navige pas avec une entiere sûreté dans les petits navires ausquels elles donnent trop de mâture; ou qu'elles empêchent, en donnant au contraire une mâture trop peu étendue aux grands vaisseaux, de jouir de tout l'avantage que procureroit leur grandeur.

III.

Les regles vulgaires se trouvant défectueuses, nous ne pouvons pas, & il s'en faut même beaucoup, leur en substituer d'autres qui soient aussi simples: mais si cependant on a une fois un navire dont la mâture soit bien disposée, on pourra s'en servir pour regler la mâture des autres qui seront semblables, ou à peu près semblables. Les forces relatives qu'ont les navires pour soutenir la voile, sont comme les quarrés quarrés de leurs dimensions simples; & les forces relatives qu'a la mâture pour faire verser le navire, sont comme les largeurs des voiles multipliées par le quarré de leur hauteur; puisque cette hauteur augmente l'étendue des voiles, & fait en même-tems que leur centre d'effort est plus élevé. D'un autre côté on ne peut gueres

se dispenser de regler les largeurs des voiles sur la largeur du vaisseau : on peut faire ces largeurs plus grandes ou plus petites ; mais elles doivent toujours dépendre de l'autre. Ainsi pendant que la force relative du navire pour soutenir la voile, est comme le quarré quarré de sa largeur, la force relative de la voile pour produire l'inclinaison, est comme le produit de cette même largeur par le quarré de la hauteur du mât. Mais s'il y a équilibre entre ces deux forces, il y aura égalité de rapport entre les deux quantités qui les expriment, & cette égalité subsistera encore, si on divise les deux quantités également par la largeur. Or il suit de-là que pour que les navires semblables ayent leur mâture également parfaite, il faut que les quarrés des hauteurs de leurs mâts soient comme les cubes des largeurs de ces navires, ou les cubes de leurs longueurs. Ce théoreme peut servir de regle, & il sera toujours facile par son moyen, de déterminer la mâture d'un navire, aussi-tôt qu'on en aura un autre qu'on pourra prendre pour modele.

Il semble qu'il n'y a point d'inconvénient à se regler toujours sur les vaisseaux du troisieme rang ; parce que ce sont ceux qui, comme nous l'avons déja dit, se comportent le mieux à la mer. Dans un vaisseau du troisieme rang, qui a 137 pieds de longueur, les voiles de son grand mât ont ordinairement ensemble 118 pieds de hauteur *. Si on veut maintenant trouver combien doit avoir de hauteur la voilure d'un navire semblable, & qui n'a que 83 pieds de long, il n'y a qu'à faire cette simple analogie ; le cube de 137 est au quarré de 118, comme le cube de 83 est au quarré de la hauteur des voiles du grand mât du second navire. Ce quarré est 3096, & par conséquent la hauteur du mât requis est d'environ $55\frac{2}{3}$ pieds ; au lieu que selon les proportions ordinaires, elle seroit d'environ $71\frac{1}{2}$ pieds. Quoique l'operation ne soit jamais fort longue, on peut cependant l'abreger considérablement par le moyen des logarithmes.

* On prend ici les hauteurs des voiles au-dessus du pont, quoique cela ne soit pas parfaitement exact.

Mais si le second navire n'est pas semblable au premier, s'il est plus large ou plus étroit, en même-tems qu'il est

plus ou moins creux dans le même rapport ; il faudra faire à la mâture un second changement proportionnel à celui de la largeur. C'est-à-dire que si le navire qui a 83 pieds de longueur, au lieu d'avoir 23 pieds de largeur, selon les regles ordinaires, n'en a que 15 $\frac{1}{3}$, ou les deux tiers de 23, il ne faudra donner de hauteur à sa mâture qu'environ 37 $\frac{1}{15}$ pieds, au lieu de 55 $\frac{3}{5}$. Il est facile de voir que la longueur du navire étant la même, mais la largeur & le creux recevant un changement semblable, il faut en faire souffrir un proportionnel à la hauteur des mâts. Car supposant toujours que la largeur des voiles soit reglée sur celle du navire, & que la hauteur de la mâture soit aussi changée dans le même rapport, l'étendue de la voile, & par conséquent l'impulsion absolue du vent, sera proportionnelle au quarré de cette largeur, & la force relative sera proportionnelle à son cube; en même-tems que la force relative avec laquelle la pesanteur du navire résistera à l'inclinaison, sera proportionnelle à ce même cube, & non pas au quarré quarré ; puisque la longueur du vaisseau est censée ici ne pas varier. Or il suit de-là que les changemens faits à la voilure, répondront exactement à ceux qu'on aura fait à la grosseur du navire, & que l'équilibre entre les deux forces qui doivent se contrebalancer, ne se trouvera point alteré. Si le bau est deux fois plus long, la voile sera deux fois plus large, & aura deux fois plus de hauteur; ainsi la surface sera quatre fois plus grande ; & comme son centre d'effort sera aussi deux fois plus élevé, son moment sera huit fois plus grand. Mais si l'effort relatif du vent pour faire verser le navire, est huit fois plus grand ; d'un autre côté la pesanteur du navire qui s'y oppose, aura huit fois plus de moment; il n'y aura donc rien à craindre. Le navire, en effet, aura le même nombre de coupes verticales, faites perpendiculairement à sa longueur, & qui servent d'élement à sa solidité, mais chacune sera quatre fois plus grande ; & la pesanteur quadruple du navire étant située deux fois plus bas, ou deux fois plus avantageusement, puisque le navire est deux fois plus creux, aura

huit fois plus de force relative, ou de moment; précisément, comme il est nécessaire pour entretenir toujours l'équilibre avec l'effort du vent. On voit assez qu'il suffit de joindre cette seconde regle avec la premiere, pour qu'on soit toujours en état, aussi-tôt qu'on aura un navire dont la mâture sera parfaite, de déterminer la mâture de tous les autres, & de ceux même qui ne sont pas semblables, pourvu que les coupes verticales de la carene le soient. La premiere regle porte que *dans les vaisseaux semblables, les quarrés de la hauteur de la mâture doivent être comme les cubes des dimensions simples des navires.* Selon la seconde regle, *les hauteurs des mâts doivent être proportionnelles aux largeurs des navires dont les longueurs sont les mêmes.* Ces deux regles étant admises, on peut se prévaloir de ce qu'il y a de meilleur dans les dispositions ordinaires; on cherchera la hauteur de la mâture de chaque navire; comme s'il étoit semblable à ceux du troisieme rang, tels qu'on les construit aujourd'hui : & il n'y aura plus ensuite qu'à retrecir ou élargir les voiles, & diminuer ou augmenter la hauteur de la mâture déja trouvée, selon que le navire sera plus ou moins large.

On peut trouver encore quelqu'autres maximes qui tendront au même but que les précédentes; c'est-à-dire qu'elles serviront à disposer la mâture d'un navire aussi-tôt qu'on en aura un autre bien mâté. En voici, par exemple, une troisieme. *Dans les navires de même grosseur, mais de différentes longueurs, les hauteurs de la mâture doivent être comme les racines quarrées des longueurs.* Car la force relative qu'ont ces navires pour soutenir la voile, ou pour s'opposer à l'inclinaison, est proportionnelle à leur longueur, puisqu'elle ne change par aucun autre endroit. Le centre de gravité ne monte ni ne descend; c'est seulement la pesanteur totale qui est plus ou moins grande, selon la longueur; & le moment, ou la force relative, doit donc suivre le même rapport. Mais aussi-tôt que la largeur du vaisseau ne change pas, celle des voiles est aussi toujours la

même ; & l'effort relatif qu'elles font pour faire incliner le navire ne dépend que de leur seule hauteur, mais il en dépend deux fois ; l'une, parce que cette hauteur fait croître la surface exposée au vent ; l'autre, parce que le centre d'effort se trouve plus élevé, ou le bras de levier plus long. Ainsi le moment, ou la force relative des voiles, croît comme le quarré de leur hauteur ; & il faut, dans le cas de l'équilibre, que ce quarré soit proportionnel à la longueur du navire, qui exprime l'autre moment: par conséquent les hauteurs même des mâts, ou des voiles, doivent être comme les racines quarrées des longueurs des navires. Supposé qu'en laissant à un vaisseau la même grosseur, c'est à-dire la même largeur, & la même profondeur, on voulut le faire quatre fois, ou neuf fois plus long, il faudroit, selon cela, faire seulement sa mâture deux fois ou trois fois plus haute. Enfin si on réunit cette troisieme regle avec la seconde établie ci-dessus (qu'il faut donner aux navires de même longueur, mais de différente grosseur, une mâture, dont la hauteur soit comme leur largeur), on en concluera ce quatrieme théoreme ; que *dans les vaisseaux de différentes longueurs, & de différentes grosseurs, les hauteurs de la mâture doivent être en raison composée des largeurs des navires, & des racines quarrées de leur longueur, ou qu'elles doivent être comme les produits des largeurs par les racines quarrées des longueurs.*

IV.

Toutes ces choses deviendront sans doute plus évidentes par les diverses remarques que nous ferons dans la suite ; principalement lorsque nous entreprendrons de parler de la mâture d'une maniere plus exacte. Mais ceux des lecteurs qui ne sont point accoutumés à suivre les raisonnemens géométriques, peuvent par l'expérience, se convaincre aisément de la vérité de la plûpart des choses que nous avançons. Si la hauteur de la mâture doit être proportionnelle dans tous les navires, elle doit l'être aussi-

bien dans les plus petits que dans les plus grands ; & si au contraire cette regle est défectueuse, le vrai moyen de manifester son défaut, & de le faire, pour ainsi dire, toucher au doigt, c'est de l'appliquer à un vaisseau monstrueux par sa grandeur, ou à un navire si petit, qu'il n'ait qu'un ou deux pieds de longueur. On peut de cette sorte mettre aisément la régle à une épreuve qui en doit être la vraie pierre de touche. Pendant que j'étois au Havre-de-Grace, & que toutes ces choses me rouloient dans l'esprit, je fis faire deux petits navires parfaitement égaux, & sur la même forme qu'une frégate nommée *la Gazelle*, que le Roi faisoit alors construire, & qui étoit encore sur le chantier. Mes deux petits navires avoient 15 ou 18 pouces de long ; je ne me souviens pas bien de leur grandeur exacte ; mais je sai qu'on eut toutes les attentions possibles pour les rendre semblables à la frégate, & qu'on en mâta un précisément de la même maniere qu'elle devoit l'être. Je me chargeai de la mâture de l'autre, que je ne voulus pas rendre absolument parfaite ; afin de ne changer la disposition ordinaire que le moins qu'il étoit possible. Enfin nous donnâmes précisément la même charge, ou le même lest aux deux petits navires : & nous les portâmes sur une piece d'eau assez étendue, & où le vent, qui étoit très-violent, se faisoit sentir avec beaucoup de force. A peine l'experience fut-elle commencée, que le petit navire entierement disposé comme la Gazelle, versa cent fois, ou *fit capot*, au grand étonnement des spectateurs, qui ne consideroient pas que si on avoit eu le soin de proportionner tout, de rendre toutes les parties du petit navire 50 ou 60 fois plus petites que celle de la frégate qui nous avoit servi de modele, on n'avoit pas pu rendre le vent moins rapide ou moins fort ; & qu'on exposoit donc ce petit navire à une vraie tempête, à une tempête si furieuse, que les grands vaisseaux n'en avoient jamais éprouvé de telles. Il faut convenir que les voiles du petit navire étant de 60 fois moins hautes & moins larges, l'impulsion qu'elles recevoient, étoit 3600 fois moindre que celles qu'eussent

reçues

reçues du même vent les voiles de la frégate, & leur moment pour faire verser ce petit navire, étoit 216000 fois plus foible. Mais la force qu'avoit la pesanteur du petit navire pour le faire relever, étoit diminuée encore 60 fois davantage : car sa pesanteur même étoit déja 216000 moindre, & appliquée qu'elle étoit à un bras de levier 60 fois moins long, elle devoit avoir 12960000 fois moins de force relative, ou de moment. Après cela il n'étoit pas étonnant que le petit navire qui avoit 60 fois moins de force à proportion que la Gazelle, pour soutenir la voile, ne résistât pas un seul instant à l'effort du vent, & qu'il n'y résistât pas même encore après qu'on eut serré une partie de ses voiles, & que beaucoup de personnes qui ne s'intéressoient peut-être que trop à sa conservation, eussent fait une infinité de divers changemens à sa mâture, pour sauver, s'il étoit possible, l'honneur des regles vulgaires.

Je ne ferai point difficulté d'avouer que celui que j'avois pris soin de mâter, versa aussi plusieurs fois; & cela, comme je l'ai déja dit, parce que je m'étois contenté de donner à sa mâture une disposition plus approchante de la parfaite, en ne retranchant simplement que les principaux défauts de la disposition ordinaire, & que le vent, qui étoit très-impétueux, souffloit de tems en tems avec encore plus de violence. On dit souvent, lorsqu'il s'agit de machines, qu'elles ne réussissent pas toujours aussi-bien lorsqu'elles sont exécutées en grand, que lorsqu'elles sont exécutées en petit : au lieu que c'est tout le contraire dans l'Architecture Navale. Les expériences faites en petit, sont toujours très-peu favorables, par les raisons que j'ai exposées. Mais l'autre petit navire, après qu'on eut serré une partie de ses voiles, versoit encore 20 ou 30 fois contre le mien une, & s'obstinoit, pour ainsi dire, à montrer toujours que la mâture ne doit pas être proportionnelle aux autres parties du vaisseau. Je ne me permis outre cela aucun changement; j'avois établi les mâts dans d'autres places; j'avois donné aux voiles des dimensions différentes, & je n'avois été aidé à disposer toutes ces choses par aucune

tentative précédente, ni par aucun tâtonnement. Je voulus que mon petit navire portât toujours les voiles hautes ; quoiqu'elles fussent beaucoup plus grandes que toutes celles de l'autre, & je me fis une loi de n'y toucher pour les orienter, que lorsqu'il fut question de l'essayer dans quelqu'autre route. Il affronta la tempête dans cet état ; & parvenu à l'extrémité de la piece d'eau qui avoit 30 ou 40 toises de largeur, & qu'il franchissoit avec une vitesse ignorée des Marins, son mouvement le portoit toujours à terre, en le faisant s'élancer & sauter sur le bord.

CHAPITRE VII.

Des principaux cordages qui soutiennent la mâture, & qui servent à la manœuvre des voiles.

I.

IL seroit difficile de donner une explication complete de tous les cordages qui servent dans les vaisseaux, à cause de l'imperfection des figures qu'il faudroit employer pour cela ; ainsi c'est ici principalement où nous devons nous attacher à être court. Les *haubans* sont ces especes d'échelles de cordes qui sont aux deux côtés de chaque mât ; ils servent à le soutenir, en même-tems qu'ils servent aux Matelots à monter à la hune, par le moyen des *enflechures*, ou de ces cordes horisontales qui sont comme des échelons. Comme les haubans tirent le sommet du mât d'un côté & de l'autre fort obliquement, chacun ne travaille pas beaucoup à le soutenir ; & c'est pour cela qu'on est obligé d'en mettre plusieurs, quelquefois dix de chaque côté, & de leur donner une grosseur considérable. Cette grosseur est ordinairement, pour ceux du grand mât, égale au tiers de celle du maître cable. Les mâts supérieurs ont

aussi leurs haubans : ceux, par exemple, du grand mât de hune viennent se rendre au bord de la circonférence de la hune qui est au haut du grand mât. Mais ces haubans, qui s'éloignent si peu du pied du mât qu'ils sont destinés à soutenir, ne font presque aucun effort : les mâts supérieurs sont soutenus bien davantage par d'autres cordes qui descendent de leur sommet jusqu'aux côtés même du navire, & qu'on nomme *cale-haubans*.

Pendant que les mâts sont soutenus à droite & à gauche par les *haubans* & les *cale-haubans*, & qu'ils ne peuvent pas tomber non plus vers la proue, parce que quelques-uns de ces cordages se trouvent beaucoup en arriere du mât ; il y en a d'autres destinés à les empêcher de tomber vers la poupe, & on les nomme *étays*, comme je crois l'avoir déja dit. Ces étays servent principalement dans le tangage, ou lorsque le navire souffre ces balancemens très-vifs ausquels il est quelquefois exposé dans le sens de sa longueur. La proue tombant avec force par la propre pesanteur du vaisseau, la mâture, qui n'est pas déterminée par son poids à prendre le même mouvement, resteroit en arriere, ce qui la feroit infailliblement rompre vers le pied, sans que le haut de chaque mât étant comme lié à la proue par le moyen des étays, est obligé de suivre le navire, malgré sa chûte précipitée. On nomme *grand étay*, celui KL (Fig. 37.) qui partant du haut du grand mât, vient se rendre au beaupré, proche de l'étrave ; il a de grosseur ordinairement les deux tiers de celle du maître cable. Les autres mâts ont aussi leurs étays. L'explication que nous venons de faire de leur usage, montre assez qu'ils sont absolument nécessaires.

Fig. 37.

Outre ces cordages qui soutiennent les mâts, il y en a d'autres qui soutiennent les vergues ; tels sont *les itagues*, & les *drisses*. La vergue qui peut glisser le long du mât, sans avoir la liberté de s'en éloigner, à cause d'une espece de colier ou de chapelet nommé *racage*, qui étant attaché à la vergue, fait le tour du mât, est suspendue par sa *drisse*, & ce cordage passe dans une poulie qui est soutenue elle-

même par l'*itague*. On se sert de la drisse lorsqu'on veut *hisser* ou *caler* la vergue; c'est-à-dire la faire monter ou descendre; mais on ne touche à l'itague que lorsqu'on veut hausser ou baisser la poulie qui sert comme de point d'appui. Les vergues sont encore soutenues par les deux extrémités par les *balancines*, qui servent en même-tems à les élever, lorsqu'on le veut, par l'une ou l'autre extrémité. Ces balancines ne sont jamais simples: pour diminuer le travail des Matelots, il y a toujours plusieurs poulies, ou plusieurs moufles qui multiplient la force, & la partie du cordage qui est *frappée* ou *amarée* à demeure, se nomme le *dormant*, & c'est la même chose dans plusieurs autres manœuvres. Nous avons représenté dans la Figure 37. les balancines de toutes les vergues: KM & KN sont celles de la grande vergue; mais nous n'avons pas pu marquer la partie de ces cordages qui descendant le long du mât, vient tomber dans le vaisseau. Les extrémités des balancines de toutes les autres vergues, ont aussi leur place assignée dans le navire, & toujours la même: c'est la même chose de tous les autres cordages, afin que les Matelots sçachent de jour & de nuit où il faut les aller chercher.

La plûpart des autres manœuvres servent principalement à orienter les voiles. Les *bras* sont des cordages appliqués aux extrémités des vergues, & qui sont destinés à les mouvoir horisontalement. Ces cordages vont vers la poupe, & c'est pour cela qu'on dit qu'on *brasse* une vergue, lorsqu'on tire une de ses extrémités vers l'arriere. A chaque des deux angles d'en bas de la voile, ou à *ses points*, il y a d'autres cordages qui ne servent qu'à l'orienter. Il y a un de ces cordages par le moyen duquel on la tire de l'arriere, c'est l'*écoute* QR, ou OS; lorsque par le moyen de cette manœuvre on tire effectivement l'angle ou le *point* de la voile vers la poupe, on dit qu'on *la borde*. Un autre cordage appliqué aussi à chaque coin d'en bas, sert à la tirer en avant; c'est ce qu'on nomme *amurer*, & le cordage QP qui sert à ce mouvement, se nomme *le couet*. Ainsi *border* la voile, c'est tirer un de ses angles vers l'arriere

par le moyen de *l'écoute* : & *l'amurer*, c'eſt la tirer au contraire en avant par le moyen *du couet*. Dans les routes obliques, la voile, au lieu d'être ſituée perpendiculairement à la quille, eſt ſituée obliquement ; & il eſt clair qu'elle eſt alors *bordée* d'un côté, & *amurée* de l'autre. La grande voile (Fig. 37.) eſt amurée en P ; elle eſt amurée du côté droit du navire, ou du côté de *ſtribord*, pendant qu'elle eſt bordée de l'autre côté, du côté gauche, ou de *basbord*. La droite & la gauche dans le vaiſſeau ſe prennent toujours par rapport au ſpectateur tourné vers l'avant, ou vers la proue.

Fig. 37.

Lorſqu'on amure la grande voile, il y a un terme où l'on tâche ſouvent de parvenir. Le couet paſſe dans le trou P, qu'on nommoit *dogue d'amure*, à cauſe ſans doute, du mufle dont on l'ornoit, & qu'on nomme à préſent *porte-amure*, & on tâche d'en faire approcher le plus qu'on peut le coin de la voile. Pour déterminer la place du *porte-amure*, les Conſtructeurs prennent ordinairement la longueur du maître bau, ou la largeur du navire ; & ils la portent horiſontalement & obliquement ſur le pont, depuis le grand mât juſqu'à la rencontre du bord, ou du flanc du vaiſſeau du côté de l'avant, & ils ont l'endroit requis P. Comme le navire conſerve à-peu-près la même largeur ſur une longueur aſſez conſidérable, l'opération précédente, pour déterminer la place du *porte-amure*, fait que la voile amurée, autant qu'il eſt poſſible, forme un angle d'environ 30 degrés avec la quille, & ne peut pas en faire un moindre. Cette opération oblige encore à ne donner par en bas à la grande voile qu'une largeur environ double du vaiſſeau : mais par en haut rien n'empêche de rendre la voile plus large, en allongeant la vergue. Je crois qu'il n'y auroit point d'inconvénient à rendre cette largeur égale à deux fois & demie celle du vaiſſeau, comme je le dirai dans la ſuite.

Les voiles inférieures ſont amurées & bordées ſur le corps même du navire ; au lieu que les ſupérieures ſont toujours bordées ſur les vergues des voiles qui ſont au-

dessous. Le grand hunier, par exemple, est bordé sur la grande vergue MN. Cette disposition est cause que les voiles supérieures sont toujours mieux tendues, & que non-seulement elles font plus d'effet, mais qu'elles ne rendent pas non plus le navire sujet dans les routes obliques à une si grande *dérive*, ou déviation : c'est-à-dire, qu'elles ne le font pas singler sur une ligne si différente de la direction de la quille. Les voiles basses sont au contraire extrêmement courbées, & pendant qu'une partie de leur surface pousse dans le sens de la route; une autre pousse de côté, & quelquefois une troisieme pousse de l'arriere, & nuit par conséquent à l'effet qu'on se propose. C'est ce qu'on doit tâcher d'éviter avec soin; & c'est pourquoi il est avantageux, quand on le peut, de porter avec des *boute-hors*, ou par quelques pieces de bois, les coins inférieurs des voiles basses considérablement au-dehors du navire, afin de les tendre plus parfaitement.

Les *boulines* servent aussi à procurer cette plus grande tension. Elles sont appliquées aux deux côtés de la voile, & on les tire vers l'avant, lorsqu'on veut empêcher la voile de se courber, & qu'on veut que le vent la frappe mieux. Il seroit inutile de faire usage des boulines, lorsqu'on marche vent en poupe, ou lorsqu'on présente seulement un peu le côté au vent, ou qu'on va *vent largue*, pour parler comme les Marins. On ne s'en sert ordinairement que lorsqu'il s'agit *de pincer le vent*, ou de lui présenter la proue; ce qu'on nomme *singler au plus près*, ou *aller à la bouline*.

D'autres manœuvres ne servent qu'à serrer les voiles, ou à les plier avec facilité. Telles sont celles qu'on nomme les *cargues*, qui n'ont d'autre usage que d'élever la voile vers la vergue; & comme les voiles sont souvent fort grandes & fort pesantes, chacune a plusieurs cargues. Il y en a deux, & ce sont celles *de fond*, pour élever le milieu du bas ou de *la bordure*. Deux autres, & ce sont les *cargue-points*, sont appliquées aux coins inférieurs de la voile, & enfin deux autres, qui partent d'environ le milieu des deux côtés, se nomment *les cargue-boulines*. Il suffit de peser dans le vais-

ſeau ſur toutes ces manœuvres, pour élever dans un inſtant toutes les parties de la voile à la fois, & cette maniere de la plier, ſe nomme *la carguer.*

On regarde ordinairement dans la Marine comme une choſe très-difficile, de regler la longueur de toutes ces manœuvres, & d'une prodigieuſe quantité d'autres que nous obmettons. On ne veut pas s'aſſujettir à monter au haut des mâts, & aller meſurer actuellement la longueur qu'il faut donner à chacune; & pour ſe diſpenſer de cette peine, il faut que les Marins ſe chargent la mémoire de je ne ſçai combien de petites regles. La longueur des haubans, par exemple, doit être plus grande que la hauteur des mâts au-deſſus du navire, puiſque ces haubans ſont comme les hypothenuſes d'un triangle rectangle, dont la hauteur du mât eſt un des côtés, & la demi-largeur du navire l'autre. Un Géometre, en faiſant une figure en petit, pour repréſenter les contours & le chemin de chaque manœuvre, ne ſeroit jamais embarraſſé dans ces ſortes de déterminations; mais les Marins qui en ſont chargés, ne ſont ordinairement rien moins que Géometres. Nous ne pouvons pas entrer ici dans le détail de toutes ces choſes: tout ce que nous pouvons faire de plus, c'eſt d'expliquer le moyen dont on ſe ſert ſouvent pour trouver la longueur des manœuvres pour les vaiſſeaux de toutes ſortes de grandeurs, auſſi-tôt qu'on a une figure qui marque ces longueurs pour un navire d'une grandeur déterminée, & en ſuppoſant que toutes ſes parties ſont proportionnelles à celles des autres.

II.

Maniere de former une échelle pour trouver ſur la même figure la longueur des manœuvres pour tous les vaiſſeaux.

On fait une figure à-peu-près ſemblable à la trente-ſeptieme, dans laquelle on marque la longueur exacte des mâts, des vergues & des principales manœuvres. La

perſpective ne doit rien alterer dans cette figure ; ainſi au lieu de repréſenter les vergues dans leur ſituation naturelle, on eſt obligé de les étendre dans le ſens même de la longueur du navire, ce qui n'empêche pas de les accompagner des balancines, des bras, &c. Cette figure étant faite avec ſoin, il eſt évident qu'il n'eſt plus néceſſaire que d'avoir une échelle, pour pouvoir meſurer les dimenſions de chaque partie ; ſoit en pieds, ſoit en braſſes. Toute la difficulté conſiſte à faire enſorte que cette échelle puiſſe ſervir pour tous les vaiſſeaux. *L'échelle compoſée* qu'il faut pour cela, ſe trouve entre les mains de pluſieurs Marins, & l'uſage s'en eſt introduit depuis aſſez long-tems pour qu'on n'en connoiſſe pas l'Auteur : preſque toutes celles qu'on a, ne ſont plus auſſi que des copies les unes des autres, qui ſont continuellement devenues plus imparfaites; & ſi la conſtruction en eſt ſouvent ignorée, la démonſtration l'eſt encore plus.

Suppoſé que la droite AB (Fig. 39.) ſoit diviſée en parties égales, & puiſſe ſervir d'échelle, lorſqu'on veut meſurer toutes les parties du navire de la Figure 37, que nous feindrons avoir 20 pieds de bau, ou de largeur, il eſt évident que pour trouver ſur la même Figure 39, les dimenſions des parties ou des manœuvres d'un navire qui a deux fois plus de bau ; il n'y a qu'à les meſurer ſur une échelle DE, dont les parties égales ſoient deux fois plus petites. Car une vergue, par exemple, meſurée ſur cette ſeconde échelle, ſe trouvera contenir deux fois plus de pieds de longueur ; & c'eſt ce qui doit arriver effectivement, ſi toutes les parties des navires ſont proportionnelles. Par la même raiſon ſi le navire pour lequel on demande la longueur des manœuvres, a 30 pieds de bau, au lieu de 20, toutes les manœuvres ſeront plus grandes dans le même rapport; pour trouver ces longueurs en braſſes ou en pieds, ſur la même Figure 37, il faudra donc les meſurer ſur une droite LN (Fig. 39.) diviſée en parties égales; mais dont les parties ſoient plus petites que celles de AB, dans le rapport de 20 à 30. *L'échelle compoſée* doit être

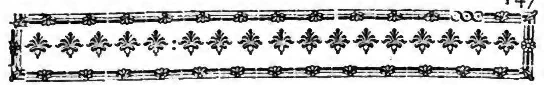
être ainsi comme formée d'une infinité d'échelles particulieres. On prendra toujours la grandeur des parties, ou des manœuvres, sur le navire de la figure 37, mais on les portera ensuite sur différentes lignes de l'échelle composée (Fig. 39.) Pour chaque differente grandeur de bau, il y aura une échelle differente; & on sçaura toujours de laquelle on doit se servir, en jettant les yeux sur les nombres marqués le long de la ligne droite ADC.

Cette simple exposition nous fournit la maniere de construire aisément l'échelle dont il s'agit, laquelle peut avoir de grands usages en plusieurs autres rencontres, qui n'ont aucun rapport à l'Architecture Navale. Toutes les parties correspondantes des differentes échelles, doivent être interceptées entre des lignes droites, ou transversales, qui concourent toutes dans un même point C, pris à volonté sur AC. J'éleve à AC une perpendiculaire CF, il n'importe de quelle longueur, & par son extrémité F je tire une parallele FG à CA, & sa longueur FG est encore arbitraire. Enfin tirant par le point G une droite indéfinie GH parallele à FC, je la divise en parties égales d'une grandeur encore arbitraire, à commencer du point G: il ne reste plus qu'à tirer du point F des droites FA, FL, FD, &c. par tous les points de division de GH, & elles viendront indiquer sur AC les points où l'on doit placer les échelles particuliers AB, LN, DE, &c.

Les parties GI, GK, &c. de GH, représentent les longueurs des baux, ou au moins elles leur sont proportionnelles: c'est pourquoi je transporte sur AC les nombres qui sont marqués sur GH; & ces nombres indiquent les longueurs des baux, ou indiquent les échelles dont il faut se servir pour chaque navire. Chaque triangle, comme FGK, étant semblable à son correspondant LCF, on a cette proportion; FG est à GK, comme CL est à FC, laquelle nous apprend que les rectangles des lignes, comme GK par CL, sont continuellement égaux à celui de FG par FC qui est constant. Ainsi les lignes GK & CL sont en raison réciproque l'une de l'autre; & par conséquent GK & LN sont

auſſi en raiſon réciproque, puiſque les lignes CL & LN ſont continuellement en même rapport. C'eſt-a-dire donc que toutes les longueurs des diverſes échelles particulieres AB, LN, &c. ſont en raiſon inverſe des longueurs des baux qu'indiquent les parties de GH, à commencer au point G, ou qu'indiquent les nombres marqués le long de AC. Si le bau d'un navire eſt double de celui d'un autre, ſi l'un eſt de 40 pieds & l'autre de 20, l'eſpace GM ſera double de GI; & par conſéquent CA ſera double de CD, de même que AB de DE, & ces deux dernieres lignes feront propres à former deux échelles, ſur leſquelles les mêmes parties du vaiſſeau ſe trouveront avoir deux valeurs differentes, double l'une de l'autre. *L'échelle compoſée* étant achevée, on peut effacer toutes les lignes qui n'ont ſervi qu'à ſa conſtruction. La droite AC ſe trouve ici diviſée en progreſſion harmonique, parce que les tranſverſales ſont des lignes droites: mais on pourroit diviſer AC en parties égales, ou tirer toutes les paralleles à une égale diſtance les unes des autres, & alors les tranſverſales deviendroient des arcs d'hyperbole.





TROISIEME SECTION.

De la résistance, ou de la force dont les parties du vaisseau doivent être capables.

CE n'est que depuis que nous connoissons l'usage auquel sont destinées les diverses parties du navire, que nous sommes en état de sçavoir la force qu'elles doivent avoir, & de regler la grosseur qu'on doit leur donner. Le fameux Galilée est le premier qui, en traitant de la résistance des solides, a eu la gloire d'inventer une nouvelle science; mais depuis lui plusieurs Auteurs ont extrémement perfectionné ce sujet. Tels sont Mrs Blondel, Marchetti, Mariotte, Leibnitz, Varignon, Parent, &c. M. Musschembroek vient en dernier lieu de nous donner, sous le nom d'introduction à cette matiere, une Dissertation qu'on peut aussi regarder comme un Traité. Nous nous contenterons, sans nous trop étendre, & en éloignant le plus que nous pourrons les difficultés d'une spéculation qui a été poussée fort loin, d'insister ici sur les choses de pratique, que les Constructeurs & les marins sont principalement intéressés de sçavoir.

CHAPITRE PREMIER.

De la résistance absolue des materiaux qui entrent dans la Construction.

I.

NOUS n'avons que peu de choses à dire sur la force absolue des bois, c'est-à-dire sur celle dont ils sont

capables lorſqu'ils travaillent dans le ſens de leur longueur. On voit aſſez évidemment que dans les bois de même eſpece, cette force doit être proportionnelle à-peu-près à la groſſeur abſolue de la piece, ou à l'étendue de ſa coupe perpendiculaire, puiſque c'eſt de cette étendue que dépend le nombre des fibres qui réſiſtent. Ainſi on peut juger, en cas de beſoin, de la force qu'a une groſſe piece de bois, comme une poutre, par celle qu'ont des bâtons du même bois, ſur leſquels il eſt facile de faire des eſſais. On peut regarder, par exemple, comme un principe d'expérience, qu'une regle de chêne qui eſt quarrée, & qui a un quart de pouce pour chaque côté de ſon épaiſſeur, ne ſe rompt, lorſqu'on la tire dans le ſens de ſa longueur, que lorſqu'elle eſt chargée d'environ 1000 livres. Il ſeroit peut-être à propos de répéter cette expérience ; mais ſuppoſé qu'elle ſoit bien faite, une regle du même bois qui a de groſſeur un pouce en quarré, doit ſoutenir 16 fois plus, & ne doit ſe rompre que par 16000 livres ou 8 tonneaux, & une poutre qui a un pied en quarré d'épaiſſeur, par 2304000 livres ou 1152 tonneaux.

Il s'en faut beaucoup que le bois de ſapin, qui entre auſſi très-ſouvent dans la conſtruction des vaiſſeaux, ait autant de force ; il n'a gueres que les $\frac{3}{5}$ de celle du chêne, lorſque l'un & l'autre ſont tirés ſelon leur longueur. Mais ce rapport peut varier ſelon la maniere dont le bois eſt nourri. Il y a une très-grande difference entre les peſanteurs ſpécifiques des divers bois de ſapin, dans le tems même qu'ils ſont également ſecs ; & je ne doute pas qu'il ne ſe trouve à-peu-près la même varieté ſur leur force. C'eſt ce que je ne faiſois que ſoupçonner lorſque j'étois au Pérou, & que je travaillois à ce traité : mais j'apprends à mon retour en France, que M. de Buffon a fait pluſieurs épreuves ſur le chêne, qui prouvent au moins que ce dernier bois eſt effectivement plus fort dans le même rapport qu'il eſt plus peſant. Lorſqu'on fera des eſſais ſur la réſiſtance des bois, il eſt à propos de les faire ſur des pieces priſes à-peu-près au milieu du rayon de l'arbre. Si on prenoit un morceau

de bois vers le centre, on le trouveroit beaucoup plus fort; & si on le prenoit au contraire vers l'écorce, on le trouveroit plus foible. C'est ce qui est vrai à l'égard de tous les arbres, si l'on excepte les palmiers, & encore quelques autres especes de bois, dont on ne se sert gueres, & qu'il est facile de distinguer. Dans les ouvrages de charpente, on rejette toujours l'aubier, c'est-à-dire l'accroissement qu'a reçu l'arbre sur toute sa circonference, pendant le cours de la derniere année. Mais ce qui étoit aubier une année, devient bois parfait la suivante; & cependant il n'est pas encore d'une si forte consistance que le bois qui est plus voisin du centre. Cette difference est cause que généralement parlant, une poutre quarrée n'est pas si forte à proportion qu'une piece de bois ronde, prise au-dedans de la quarrée, parce que tous les angles de cette derniere sont formés de bois qui n'a pas encore acquis la compacité de l'autre. Selon toutes les apparences, c'est de la force même du bois qui est vers le centre de l'arbre, que naît la facilité qu'il a à se gâter. Les canaux, à force de recevoir de nouvelle matiere, se rétrécissent, & ne permettent plus également la circulation: le suc se corrompant par son séjour, l'arbre s'altere, & il commence toujours à le faire par le milieu. C'est aux Charpentiers à saisir l'arbre avant cet accident. L'arbre se perfectionne jusqu'à un certain terme, dans lequel il ne persiste par toujours assez; & ensuite il déperit.

II.

De tous les métaux, celui qu'on employe pour la force le plus ordinairement, est le fer, parce qu'il est le plus commun. Il ne s'en faut gueres aussi qu'il ne résiste le plus de tous. L'or seul est plus fort d'environ une neuvieme partie, & on peut prendre pour principe d'expériences, lorsqu'il ne s'agit de comparer que des barres qui ont peu de grosseur, qu'un fil de fer d'une ligne de diametre ne se rompt que lorsqu'il est chargé d'environ 650 livres. Ainsi une barre de fer cylindrique d'un demi pouce de diametre, ne

ſeroit expoſée à ſe rompre que lorſqu'elle eſt chargée de 23400 livres; ou d'environ 12 tonneaux. Le cuivre rouge n'a qu'environ les $\frac{2}{3}$ de la force du fer: au lieu que le laiton réſiſte davantage que le cuivre rouge; il a environ les $\frac{4}{5}$ de la force du fer. Il eſt à propos auſſi de répéter les expériences, lorſqu'on veut employer ces métaux: car l'hétérogeneité à laquelle ils ſont ſujets, peut apporter beaucoup de difference dans leur force, principalement dans celle du fer. La maniere de forger ce dernier métal, doit auſſi y cauſer du changement. On juge aſſez qu'on ne peut pas forger, quelque ſoin qu'on y mette, une barre de fer qui a pluſieurs pouces de diametre, comme la verge d'une ancre, avec le même ſuccès qu'on forge une verge moins groſſe. On ne réuſſit pas également par le marteau à obliger les parties les plus intimes à s'arranger toutes dans le même ſens & dans celui de la longueur. Lorſqu'il s'agit au contraire d'un ſimple fil de fer, le paſſage par la filiere le rend plus ſerré, en même tems qu'il contribue à lui procurer cet arrangement de parties qui doit tant augmenter ſa force. Il eſt fâcheux qu'en rapportant les regles que nous ont données differens Auteurs ſur la réſiſtance des corps ſolides, on ne puiſſe jamais ſe diſpenſer d'avertir qu'il ne faut pas trop s'y fier, & qu'il ſeroit à propos de ſoumettre toute cette matiere à de nouvelles épreuves.

III.

Il eſt encore une autre eſpece de force abſolue des corps ſolides, qu'il ſeroit à propos d'examiner. C'eſt celle qui empêche, par exemple, deux planches chevillées ou clouées enſemble, de gliſſer l'une ſur l'autre, lorſqu'on les pouſſe de côté. Il n'intervient aucune eſpece de levier dans cette action, auſſi-tôt que les chevilles & les cloux n'ont aucun jeu, & que les deux parties doivent ſe détacher l'une de l'autre par la rupture, en conſervant toujours un parfait paralleliſme. Ce ſont toutes les fibres des chevilles ou des cloux qui réſiſtent à l'effort latéral; mais com-

me elles ſont obligées de ſe coucher les unes ſur les autres, je ne doute pas, quoique je ne l'aye pas expérimenté, qu'elles ne faſſent moins de réſiſtance, que lorſque l'effort ſe fait ſelon leur longueur.

CHAPITRE II.

Des divers moyens qu'on peut employer, pour empêcher les vaiſſeaux de s'arquer.

TOUS ces eſſais ſerviront non-ſeulement à juger de la force de l'aſſemblage de toutes les parties du navire, mais auſſi à donner à chaque piece la groſſeur qu'elle doit avoir, pour rendre le vaiſſeau durable, & pour l'empêcher de *s'arquer.* On a déja parlé de cet accident, dont les ſuites ne ſont que trop fâcheuſes : On propoſera maintenant quelques expédiens pour tâcher de le prévenir. Il eſt difficile que le vaiſſeau s'arque en préſentant ſa concavité en bas, ſans que ſa largeur ne diminue, & ſans que ſes ponts ne s'allongent en même tems. C'eſt ce qu'on voit évidemment lorſqu'on prend une taſſe en gondole, & qu'en la ſaiſiſſant par les deux extrémités, on tâche de la courber en deſſous : On la retrécit en même tems qu'on l'allonge par en haut. La même choſe doit arriver aux navires qui s'arquent : Ainſi pour les rendre plus ſolides, on doit ſe propoſer d'empêcher ces deux effets.

Si les baux, au lieu d'être courbes, étoient parfaitement droits, il me paroît qu'ils auroient beaucoup plus de force pour empêcher le navire de ſe retrecir. On aſſure qu'il eſt indiſpenſable que les ponts ayent de la pente des deux côtés ; je m'en rapporte : Mais on pourroit mettre au-deſſus des baux une ſeconde piece qui donnât cette convexité ou cette *tonture* qu'on juge néceſſaire ; & on ſe diſpenſeroit enſuite de donner cette extrême courbure au maître bau, qui eſt cauſe que preſque toutes les lignes droites

qu'on peut concevoir tirées d'une extrémité à l'autre, sortent de la piece en dessous vers le milieu. Il n'y a pas de doute qu'une courbure si considérable, lorsque le poids de l'artillerie qui est au dessus, ne tend point à la détruire & à redresser la piece, n'ôte au bau la plus grande partie de la force qu'il auroit pour s'opposer au retrécissement du navire. Mais ce qui paroîtroit encore beaucoup plus important, c'est que les baux vinssent se terminer aux membres mêmes, & non pas aux bordages : c'est-à-dire qu'au lieu de les placer à côté des membres, on les mît en dedans, en les faisant plus courts. Dans la premiere disposition, les cloux & les chevilles peuvent ceder un peu, peuvent même avoir quelque jeu, ce qui doit permettre aux deux flancs de s'approcher; au lieu que si le bau étoit renfermé dans la couple même, les deux flancs seroient maintenus, malgré les plus grands efforts, à la même distance l'un de l'autre.

Lorsque le navire s'arque, les ponts en second lieu se ralongent. Mais il semble aussi qu'on fait dans la marine tout ce qui est nécessaire pour faciliter ce ralongement. Les ponts, au lieu d'être droits de la poupe à la proue, sont considérablement courbes, ayant leurs deux extrémités plus hautes que le milieu. Ainsi sans se ralonger réellement, ils n'ont qu'à se redresser, ils deviendront comme plus longs, & ils permettront aux deux extrémités du navire de tomber un peu. Qu'on fasse au contraire tous les ponts parfaitement droits, qu'on les forme de bordages de chêne suffisamment épais & bien endentés les uns avec les autres; alors il seront par rapport à l'assemblage de la quille, de l'étrave & de l'étambot, ce qu'est une corde roidie par rapport à l'arc qu'elle bande : au lieu qu'en rendant les ponts courbes, comme on le fait mal-à-propos, c'est précisément la même chose que si on prétendoit qu'un arc ne se débandât pas, lorsque sa corde est lâche. Si l'on craignoit que les bordages des ponts, quoique forts & quoique parfaitement tendus, ne résistassent pas assez, il y a les illoires qui vont d'une extrémité du navire

navire à l'autre, en paſſant par les deux côtés des écoutilles; on pourroit les rendre plus épaiſſes, & ménager encore moins le fer, pour les lier plus ſolidement avec les baux.

Il faut remarquer qu'il n'y a point d'autres pieces de bois ſituées ſi avantageuſement, pour s'oppoſer à l'accident qu'il s'agit de prévenir. La plus grande partie des bordages qui revêtiſſent la carene, bien loin de s'y oppoſer, contribuent plutôt à le faire augmenter. Tous ceux de deſſous n'ayant été aſſujettis que par force à la figure du vaiſſeau, font toujours quelque effort pour ſe redreſſer, & ſi cet effort étoit conſidérable, il eſt évident qu'il ſeroit nuiſible. Les bordages plus hauts, & même les preſceintes, qui ſont des bordages beaucoup plus épais, qui ſervent comme de ceintures par en haut au navire, font peu d'effet, vu leur courbure. Mais rien ne ſe perd de la force des illoires & des bordages du pont : elle s'oppoſe toute entiere à la chûte de la proue & de la poupe, pourvu qu'on la mette en action; & pour cela il ſuffit que les ponts ayent aſſez de force & qu'ils ſoient parfaitement droits, ſans qu'il importe d'ailleurs qu'ils ſoient paralleles à la quille, ou qu'ils ſoient moins élevés vers l'avant que vers l'arriere, comme ils l'ont été juſqu'à préſent.

Si cette précaution ne ſuffit pas, on pourroit avoir recours à l'expédient ſuivant, qui paroît d'une application aſſez facile. On ſoutiendroit les baux de diſtance en diſtance par le milieu, par pluſieurs pieces de bois verticales, qui s'appuyeroient ſur la carlingue, à-peu-près comme le repréſente la figure 40. Ces pieces de bois ou fortes épontilles, ſont marquées par ON, ML, &c. il n'en faudroit, à ce que je crois, que 7 ou 8 dans les plus grands vaiſſeaux; on mettroit enſuite des barres de fer qui deſcendroient de la tête de chacune de ces épontilles au pied de l'autre, comme FH, DG, FM, LO, &c. en même-tems que d'autres barres de fer lieroient toutes les têtes N, L, F, &c. les unes aux autres. Deux des barres de fer obliques deſcendroient de la tête de l'épontille FE du milieu : car il fau-

droit donner à ces barres obliques une disposition contraire dans la partie de la proue, & dans celle de la poupe. Il suffiroit, à ce que je crois, qu'elles eussent toutes environ deux pouces de diametre dans les plus grands vaisseaux ; ce qui les rendroit capables d'un effort absolu de plus de 180 tonneaux. Elles saisiroient par de bons cercles le haut des pieces de bois ; & celles qui descendent obliquement, embrasseroient en forme d'étriers non-seulement la carlingue, mais même la contre-quille. Les dernieres barres de fer IK & NP, viendroient se rendre à l'étrave & à l'étambot qu'elles embrasseroient aussi par de forts étriers. Mais il faudroit que la longueur de toutes ces barres de fer se pût racourcir un peu, ou par des clavettes, ou par des coins, à cause de la difficulté qu'il y auroit en les mettant en place, de leur donner d'abord la juste longueur qu'elles doivent avoir. La quantité de fer qu'il faudroit pour tout cela ne seroit pas considérable ; elle ne seroit gueres que la moitié de celle qui est nécessaire pour les ancres : mais on n'auroit point à se plaindre, s'il falloit en employer une quantité deux ou trois fois plus grande.

Notre attention à proposer ces expédiens, ne doit pas nous faire en oublier un autre qui est déja en usage, & que nous devons à feu M. Gobert, Sous-Inspecteur de construction. Il consiste à poser les bordages qu'on nomme vegres, & qu'on applique sur les membres dans le vaisseau, non pas parallelement à ceux de dehors, mais obliquement. Cette pratique ne peut avoir que d'excellens effets : car lorsque les bordages, tant intérieurs qu'extérieurs, étoient étendus dans le sens de la quille, il arrivoit lorsque le navire s'arquoit, que les especes de rectangles que forme l'assemblage des membres & des bordages, ne faisoient simplement que changer un peu de figure, en devenant des lozanges ; & il suffisoit pour cela que deux angles s'ouvrissent un peu, pendant que les deux autres se fermoient. Mais lorsque le vegrage est posé obliquement, il sert comme de diagonale à ces rectangles ; & un simple changement d'angles ou de dispositions dans les

côtés, ne suffit plus, pour que le navire s'arque : il faut que ces bordages qui servent de diagonales, s'allongent ou se racourcissent ; & c'est ce qui est incomparablement plus difficile. Il suit de-là que l'obliquité des vegres est inutile dans le fond du navire, ou dans la partie qui est presque horisontale ; mais qu'il faut l'employer principalement sur les parties des deux flancs qui sont à-peu-près verticales ; parce que c'est dans ces endroits où les rectangles formés par les membres & par les bordages extérieurs, changent le plus de figure dans l'accident qu'on veut éviter. Je ne sçaurois non plus approuver le vegrage dont on fait des compartimens, ou comme un parquet. Toute interruption dans les ouvrages de charpente, qui doivent être solides, est dangereuse. Il vaut mieux que les vegres soient de longues pieces ; & pour ne pas diminuer de leur longueur, je crois qu'il n'y auroit point d'inconvénient à les rendre toutes paralleles les unes aux autres dans leur obliquité, depuis l'avant jusqu'à l'arriere.

CHAPITRE III.

Où l'on examine si les moyens indiqués dans le chapitre précédent, sont suffisans pour empêcher les navires de s'arquer.

IL n'est pas difficile de s'assurer de la validité des expédiens qu'on vient d'indiquer, pourvu qu'on suppose néanmoins differentes choses que nous ne pouvons expliquer que dans la suite. Pour une plus grande simplicité, nous considererons le navire comme s'il étoit formé de deux cônes, & de deux cônes égaux joints par leurs bases. La coupe verticale de ces deux cônes, selon leur longueur, est représentée par le triangle ABC, (Fig. 41.) ou, ce qui revient au même, les deux cônes qui forment la carene

Fig. 41.

Fig. 41. du navire, ſont produits par une demi-révolution du triangle ACB, autour du côté AB, qui ſert d'axe. Toutes les coupes de la carene, faites perpendiculairement à ſa longueur, ſont des demi-cercles, & on peut leur attribuer une épaiſſeur infiniment petite par-tout égale, pour pouvoir les traiter comme des élemens des deux cônes. Le navire eſt ſoutenu en chaque endroit par l'eau, à proportion du volume qu'occupe ſa carene ; ainſi il ſera effectivement ſoutenu en chaque point de ſa longueur, par une force proportionnelle à chacune de ces coupes, ou tranches verticales élementaires. Il ſera ſoutenu au milieu par un volume d'eau égal à la tranche verticale qui a DC pour rayon, de la même maniere qu'il ſera ſoutenu en I & en L par des volumes d'eau qui ſeront égaux aux tranches qui ont IO & LP pour ſemi-diametre : c'eſt ce qu'on verra dans le livre ſuivant. Mais puiſque l'étendue des tranches eſt proportionnelle au quarré de leurs rayons, & que ces rayons ſont proportionnels aux diſtances AD, AI, BL, à l'une ou à l'autre extrémité de la carene, la force avec laquelle l'eau ſoutient chaque point de la longueur du navire, & qui eſt proportionnelle aux quarrés de DC, de IO, de LP, &c. l'eſt donc auſſi aux quarrés des diſtances AD, AI, LB, de ces endroits à l'extrémité de la proue, ou de la poupe ; & par conſéquent ces différentes forces peuvent être exprimées par les ordonnées de deux complemens paraboliques AHE, & BKE, compris entre les paraboles AHE, BKE, & la droite ADB, qui eſt tangente à leur ſommet A & B.

Telle eſt la diſtribution de la force qui ſoutient le navire ; mais malheureuſement le poids du vaiſſeau n'eſt pas diſtribué de la même maniere. Son milieu eſt ſoutenu avec plus de force, & c'eſt ce même milieu qui eſt quelquefois moins peſant, parce que les extrémités ſont chargées de gaillards, de dunettes, ou de quelques autres choſes équivalentes. Je ſuppoſe que la peſanteur du navire eſt la même dans toute ſa longueur, ou qu'elle eſt exprimée par les ordonnées du rectangle ABGF, qui doit

être par conséquent de même grandeur que les deux complemens paraboliques joints ensemble; puisque, comme nous le démontrerons, la pesanteur du navire est exactement égale à la force qui le soutient. Le rectangle n'est égal aux deux complemens, que lorsque sa hauteur DC est le tiers de la plus grande ordonnée DE des espaces paraboliques. Ainsi le triangle mixtiligne HKE, exprime combien le navire est trop poussé en haut par le milieu de sa carene; & les deux espaces parabolique AFH, & BGK, marquent au contraire, combien il s'en faut que les deux extrémités soient assez soutenues. Vers le milieu du navire, la force ED, ou RS, avec laquelle l'eau le pousse en haut en chaque point de sa longueur, est plus grande que la pesanteur DC, ou ST, avec laquelle il tend à descendre; & l'excès est exprimé par EC, ou RT. Vis-à-vis les points H & K, où les paraboles coupent le côté FG du rectangle AG, les forces HI & KL, de l'eau, sont précisément égales aux pesanteurs IH & LK, qu'a le navire dans cet endroit; & au-delà des points H & K, les pesanteurs du navire sont plus grandes que les forces verticales de l'eau. Or l'espace parabolique HEK, qui est formé de tous les excès CE, RT, qu'a la force de l'eau sur la pesanteur du navire, exprime donc combien la carene est trop poussée en haut vers le milieu; & par la même raison les deux segmens AFH, & BGK, expriment combien la pesanteur des deux extrémités est plus grande que la force de l'eau qui les pousse en haut: D'où il suit qu'ils expriment la force qui tend à faire arquer le navire, en faisant tomber la proue & la poupe.

Fig. 41.

Puisque HI est le tiers de ED, il faut que AI soit à AD, comme $\sqrt{\frac{1}{3}}$ est à 1, & soit à AB, comme $\sqrt{\frac{1}{3}}$ est à 2, à cause de la proprieté de la parabole; le segment AFH, qui est les deux tiers du rectangle AFHI, sera par conséquent au rectangle entier ABGF, qui exprime la pesanteur totale du navire, comme $\frac{1}{3}\sqrt{\frac{1}{3}}$ est à 1. C'est-à-dire, donc que la force avec laquelle la proue ou la poupe tend à tomber, est le $\frac{1}{3}\sqrt{\frac{1}{3}}$ de toute la pesanteur du vaisseau, ou environ les $\frac{10}{52}$.

Une remarque qui se présente, & qui est trop importante pour qu'on l'obmette, c'est que si le navire, au lieu d'être entierement chargé, ou lesté, est presque vuide, comme ce sera de son milieu qu'on aura ôté le plus grand poids, ses diverses pesanteurs en chaque point de sa longueur ne seront plus exprimées par des lignes égales, ou par les ordonnées d'un rectangle, mais par celles d'une ligne courbe FTG (Fig. 42.). Alors DT marquera la pesanteur du navire au milieu, & AF & BG aux deux extrémités, &c. Mais le vaisseau étant moins pesant, enfoncera moins dans la mer: il ne se plongera peut-être plus que jusqu'à la droite VZ, & les forces qu'aura l'eau pour le soutenir, seront exprimées par les ordonnées d'une ligne courbe IEL. Or l'étendue, ou l'aire de cette courbe qui est la somme de toutes ses ordonnées, sera bien encore égale à l'étendue AFTGB, qui représente la somme des pesanteurs du navire: mais on voit que toutes les pesanteurs, & que toutes les forces qui les soutiennent, seront encore distribuées plus differemment, & que l'espace AFHI, ou BGKL, qui marque alors combien la proue ou la poupe tend plus à descendre qu'elle n'est soutenue, deviendra ordinairement plus grand. Ainsi il est à propos que les navires, dans le Port même, ne soient jamais sans quelque charge, ou sans quelque lest: & on voit également que ce lest doit être principalement appliqué vers le milieu de la cale.

Fig. 42.

Je reviens donc au cas que nous examinions, & je suppose que le navire étant entierement chargé ou lesté, enfonce dans l'eau jusqu'à l'axe AB des deux cônes (Fig. 41.) ce qui est cause que la force avec laquelle la proue ou la poupe tend à tomber, malgré l'effort contraire de l'eau, est représentée par l'espace parabolique AFH, qui n'est égal qu'aux $\frac{10}{11}$ du rectangle entier AG, qui exprime la pesanteur totale du navire. Si nous voulons avoir maintenant l'énergie, ou le moment de cette force, nous considererons que plus elle est éloignée du milieu du navire, plus elle agit, & qu'il faut donc la multiplier par la distan-

Fig. 41.

ce du centre de gravité M ou N de chaque espace parabolique à la verticale DC : car c'est cette distance qui sert de bras de levier. Le centre de gravité M répond aux $\frac{3}{8}$ de AI ; & par conséquent sa distance au milieu du navire est à AD, comme $1 - \frac{3}{8}\sqrt{\frac{1}{3}}$ est à 1, ou en est environ les $\frac{78}{100}$: d'où il suit que le moment de la force avec laquelle la proue ou la poupe tend à descendre, est égal à $\frac{10}{12}$ de la pesanteur du navire, multipliée par les $\frac{39}{100}$ de la longueur totale, ou à toute la pesanteur multipliée par $\frac{39}{120}$ de la longueur. Il ne reste plus après cela qu'à attribuer les dimensions qu'on voudra au navire, pour avoir la quantité effective de la force dont il s'agit. Si le navire a 100 pieds de long & 30 de large, sa pesanteur sera d'environ 450 tonneaux ; & si on la multiplie par les $\frac{39}{120}$ de sa longueur, il viendra environ 3712 pour le moment, ou pour la force relative qui tend à faire descendre chaque extrémité du navire, & à ouvrir par conséquent l'angle ACB.

Fig. 41.

Rien ne doit s'opposer avec plus d'efficacité à cet effet, que les ponts que nous supposons étendus en ligne droite depuis A jusqu'à B. La poupe & la proue ne peuvent pas tomber sans que le pont ne s'allonge ; & pour y mettre obstacle, il n'y a qu'à rendre ses bordages assez forts. Le pont est élevé de 15 pieds au-dessus du point C, qui sert d'hypomoclion, & le moment de sa force, ou le produit de cette force par 15 pieds, doit être égal à 3712, moment de la force contraire. C'est pourquoi je divise ce nombre par 15, & il me vient 247 tonneaux pour la résistance dont doit être capable le pont selon sa longueur. Or cette force n'est que très-peu de chose, en comparaison de celle dont il sera toujours effectivement capable, quand on le voudra. Je ne dis pas les illoires, mais deux de ses bordages doivent fournir autant de force qu'il en faut ; puisqu'une planche de chêne qui a un pied de largeur, & un pouce & demi d'épaisseur, a une force de 144 tonneaux, à proportion d'une poutre grosse d'un pied en quarré, qui ne se doit rompre, comme nous l'avons vu, que par un poids de 1152 tonneaux. Outre cela nous

avons fait toutes les suppositions les moins favorables que nous avons pu. Car quoique nous soyons d'avis qu'on diminue le renflement de la proue & de la poupe, nous ne prétendons pas qu'on les rende coniques; ainsi l'une & l'autre sera plus soutenue par l'eau que nous ne l'avons supposé. Il est aussi très-difficile que dans un navire chargé ou lesté, chaque coupe verticale des extrémités, pese autant que celle du milieu.

Ainsi il n'y a point de doute que si les vaisseaux s'arquent, ou que si leurs extrémités tombent, c'est parce qu'on n'a pas sçu tirer tout le parti qu'on pouvoit de la force du pont; & on y a manqué principalement, parce qu'on l'a rendu courbe dans sa longueur, & qu'on a obmis en même tems de le lier assez fortement avec les deux extrémités du navire, ou avec l'étambot & l'étrave. Comme plusieurs raisons de convenance empêchent de l'étendre jusqu'à cette derniere piece, il faut au moins la lier avec le bau le plus voisin avec de fortes barres de fer. Il ne faut pas non plus que le pont, qui doit être formé par des bordages bien continus, vienne se terminer simplement à l'arriere sur la barre d'arcasse qui soutient son extrémité: il faut qu'il y soit arrêté & fixé avec des bandes de fer clouées sur l'un & sur l'autre, & que cette barre d'arcasse soit assez forte pour ne pas plier, de même que toutes les autres qui sont en dessus & en dessous. Le même motif engage à fortifier la proue encore plus qu'on ne le fait, par ces pieces de bois courbes & placées horisontalement en dedans, qu'on nomme guirlandes. On peut, pour les mieux maintenir dans le même état, & les empêcher de céder en se courbant davantage, les soutenir par plusieurs faux baux. On doit avoir enfin toujours en vue dans l'assemblage des parties d'un navire, de mettre toutes sortes d'obstacles à son retrécissement & à son ralongement par en haut.

CHAP.

CHAPITRE IV.

De la résistance relative des corps solides, & de la force qu'il faut donner à diverses parties du navire.

I.

LORSQU'ON veut comparer la résistance absolue des corps solides à leur résistance relative, c'est-à-dire à la résistance qu'ils font lorsqu'on travaille à les rompre, en les tirant de côté, ou perpendiculairement à leur longueur, on trouve dans cette comparaison des difficultés qui ont arrêté jusqu'à présent les plus grands Géometres. Galilée avoit considéré les fibres des corps comme parfaitement rigides, ou comme incapables d'extension; on a vu depuis, & on doit cette attention à M. Mariotte, que les fibres qui étoient obligés de s'alonger davantage, résistoient aussi plus; au lieu que celles qui étoient plus voisines du point sur lequel se faisoit la rupture, & qui n'étoient sujettes à aucun alongement, n'étoient presque point mises en action. A la fin on a reconnu que pendant qu'une partie des fibres s'alongoient, les autres se comprimoient: & on eût pu ajouter encore une autre considération qui a échappé, à ce que je crois, que les fibres changent de direction, & cessent, pendant l'effort de la rupture, d'être paralleles les unes aux autres. Si pendant qu'une piece de bois est engagée dans un mur par une de ses extrémités, on la charge d'un grand poids par l'autre bout, à mesure qu'on rapprochera le poids, on pourra le rendre plus grand, sans craindre que la poutre se rompe. En rapprochant dix fois plus le poids, on pourroit l'augmenter dix fois plus; mais si on l'appliquoit donc tout-à-fait proche du mur, ou qu'on rendît nulle sa distance au point d'appui, on pourroit, ce semble, le rendre infini: ce

qui eſt fort éloigné d'être vrai, à cauſe de la confidé-ration que nous venons de faire, ou parce que les fibres ſe couchant les unes ſur les autres, leur direction ſe trouve extrémement rapprochée du point qu'on peut conſidérer comme hypomoclion pendant la rupture. C'eſt auſſi ce qu'on reconnoît tous les jours par l'expérience, qui montre que la ſeconde eſpece de réſiſtance abſolue, dont nous avons parlé dans le premier chapitre, eſt très-limitée ; bien loin d'être infinie, comme on l'a ſuppoſé juſqu'à préſent dans tous les ſyſtêmes qu'on a fait ſur la réſiſtance des corps ſolides. Nous croyons qu'on néglige encore outre cela quelques autres attentions qui ne ſont pas moins importantes.

Ce n'eſt pas ici le lieu d'entrer dans une diſcuſſion ſi difficile : il vaut mieux trouver le moyen de s'en diſculper ; & on y réuſſira auſſi-tôt qu'on n'entreprendra point de déduire de la force abſolue la force relative, & qu'on évitera auſſi certains cas extrêmes qui ne ſont pas ordinaires dans la pratique. Lorſqu'on fait effort pour rompre de côté une piece de bois (Fig. 43.), en la tirant ſelon une direction AG, elle réſiſte à proportion de la groſſeur, ou de la multitude des fibres qui ſont renfermées dans chaque coupe perpendiculaire CD. Mais outre cela ces fibres réſiſtent encore plus ou moins, ſelon qu'elles ſont plus ou moins éloignées du point C, qui ſert d'hypomoclion, & ſur lequel doit ſe faire la rupture : car elles ſont appliquées comme à un bras de levier plus long. Le levier entier eſt angulaire, c'eſt ACD ; la puiſſance qui l'exerce ſelon la direction AG, eſt appliquée au bras CA, en même tems que les fibres qui réſiſtent ſont appliquées à diverſes diſtances de l'hypomoclion C, le long de l'autre bras CD. Il ſeroit difficile de déterminer le centre précis dans lequel il faudroit conſiderer toutes ces fibres, pour avoir leur effort moyen ; mais tant qu'on ne comparera les uns aux autres que des corps dont les coupes ſont des figures ſemblables, il n'y aura qu'à prendre le centre de gravité de ces coupes pour centre d'effort, & il s'en

Fig. 43.

ſuivra que les réſiſtances relatives des corps ſolides de differentes groſſeurs, ſeront comme les cubes des dimenſions ſimples de ces groſſeurs. Il n'importe auſſi que ce ne ſoit pas le point d'en bas de la piece qui ſerve d'hypomoclion, mais que ce ſoit le centre de toute la partie inférieure comprimée, puiſque ce centre doit ſe trouver toujours à-peu-près placé proportionnellement au même endroit. Si une poutre eſt donc trois fois plus groſſe qu'une autre, c'eſt-à-dire qu'elle ait trois fois plus de largeur & trois fois plus d'épaiſſeur, elle réſiſtera 27 fois davantage, ou ſoutiendra un poids 27 fois plus grand, appliqué à la même diſtance. La ſeule groſſeur de la poutre fait qu'elle a 9 fois plus de fibres qui réſiſtent dans chaque coupe CD; mais outre cela ces fibres ſont ſituées trois fois plus avantageuſement: car la poutre étant trois fois plus épaiſſe, les fibres ſont appliquées à trois fois plus de diſtance du point C, ou de tout autre point. Une partie de ſes fibres ſont plus éloignées, & les autres plus voiſines; mais toutes conſidérées comme réunies dans un certain centre, afin de faire une compenſation, ſont trois fois plus éloignées du point d'appui dans la groſſe poutre que dans l'autre. En un mot, indépendamment de la force qui naît de la plus grande multitude des fibres, la groſſeur contribue encore à la force; & c'eſt par cette raiſon qu'une piece de bois qui ne réſiſte pas plus qu'une barre de fer, lorſqu'on la tire dans le ſens de ſa longueur, réſiſte cependant beaucoup davantage lorſqu'on la tire de côté, ou qu'on fait effort pour la plier.

Quoi qu'il en ſoit, il ſuffit de faire des expériences ſur des corps de peu de groſſeur, pour pouvoir juger à-peu-près de la force des corps les plus gros de même matiere, pourvu que les coupes des uns & des autres faites perpendiculairement à leur longueur, ſoient des figures ſemblables. C'eſt-à-dire qu'on ne peut pas juger dans la rigueur de la force d'une poutre quarrée, par l'examen qu'on fera de la force d'un bâton parfaitement rond; quoiqu'on ſoit attentif, comme nous l'avons déja recommandé, de choiſir ce

bâton vers le milieu du rayon de l'arbre, ou à-peu-près à égale distance du centre & de la circonference. Cependant, comme il n'est question le plus souvent dans l'usage ordinaire, que de sçavoir si on peut compter assez sur la force d'un corps, sans qu'il soit nécessaire de sçavoir la quantité précise de cette force, on peut presque toujours prendre pour regle, que la résistance relative des corps de même matiere, est proportionnelle au produit de l'étendue des coupes faites perpendiculairement à la longueur, multipliées par la distance du centre de gravité des mêmes coupes au point sur lequel se fait la rupture. Il suit de-là qu'une poutre horisontale placée de champ, & chargée d'un fardeau, doit résister davantage, que située de plat. Si la poutre a trois fois plus d'épaisseur, ou de hauteur, que de largeur, elle résistera environ trois fois plus dans la premiere situation. La difference, comme il est évident, ne vient que de ce que le total des fibres dans le premier cas, est trois fois plus éloigné du point qui sert d'appui.

Pour éclaircir ce qu'on vient de dire par un exemple, nous prendrons pour principe d'expérience, qu'une regle de chêne de l'espece qu'on nomme verd, qui a le plus de force, d'un pouce en quarré de grosseur, & placée horisontalement, peut soutenir à un pied de distance, un effort un peu moindre que 130 livres. C'est ce que nous supposons qu'on a vérifié, & nous cherchons combien doit soutenir à proportion une poutre scellée dans un mur par une de ses extrémités, & qui a 14 pouces d'épaisseur sur 10 de largeur. Les forces relatives étant proportionnelles à l'étendue des coupes multipliées par la hauteur de leur centre de gravité au-dessus du point sur lequel se fait la rupture; nous aurons $1 \times 1 \times \frac{1}{2}$ pour *l'exposant* de la force relative de la regle, puisque 1×1 exprime l'étendue de la coupe, & que son centre de gravité étant au milieu de l'épaisseur, est à $\frac{1}{2}$ pouce au-dessus de la base. D'un autre côté, & par la même raison, $10 \times 14 \times 7$ est *l'exposant* de la force relative de la poutre. Ainsi nous aurons cette analogie $1 \times 1 \times \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$: 130 livres :: $10 \times 14 \times 7 = 980$: 254800 livres; &

ce quatrieme terme 254800 livres indiquera la puissance qui étant appliquée à 1 pied de distance, peut encore être soutenue par la poutre proposée. Il est évident qu'il faudra diminuer cette puissance à mesure qu'on l'appliquera à une plus grande distance du point d'appui : supposé qu'on l'éloignât de 30 pieds, il faudroit la rendre 30 fois moindre ; ce seroit assez qu'elle fût de 8493 livres. Nous suivons dans cette diminution la regle générale, qui est fondée sur les principes les plus certains de la Méchanique : mais le Physique qui s'y mêle souvent, est quelquefois cause que cette derniere regle souffre ici quelque exception, comme je le dirai dans le Chapitre suivant.

II.

On pourra estimer aussi à-peu-près par le même moyen, la force d'un assemblage de charpente ; nous avons le soin de dire qu'on l'estimera à-peu-près ; & on doit même étendre beaucoup le sens de cette restriction nécessaire. Car on court risque lorsqu'on examine un assemblage de charpente de tomber dans un inconvénient encore plus grand que si l'on comparoit la force de deux pieces de bois qui eussent differentes figures. Proposons-nous *les bittes* qui sont formées de deux poutres verticales AB, CE (Fig. 44) & d'une troisieme qui est horisontale. La premiere résistera d'autant plus à un effort fait de côté, & horisontalement de droite à gauche, que l'intervalle EF sera plus grand, parce que ses fibres, qu'on peut considérer comme réunies en F, seront situées plus avantageusement par rapport au point d'appui H. Ainsi la force des bittes dans le sens spécifié, est proportionnelle à la somme des deux produits de l'étendue de la coupe BD par la distance FH, & de l'étendue de la coupe HG par la distance HE. Si chacune des poutres verticales est de chêne d'un pied quarré de grosseur, elle pourra soutenir à un pied de distance, un peu moins de 224640 livres ; de sorte qu'il semble que les deux poutres ne devroient résister qu'à un effort de 449280 livres. Mais si l'intervalle qu'on met entr'elles,

Fig. 44

Fig. 44 rend la diſtance FH de quatre pieds, la premiere, qui ne pouvoit ſoutenir en particulier que 224640 livres, en ſoutiendra huit fois davantage, parce que toutes les fibres dont le centre de réunion eſt en F, ſeront aidées par un bras de levier FH huit fois plus long. Ainſi les deux poutres ſoutiendront enſemble un effort horiſontal de 2021760 livres qui s'exerceroit ſur une direction élevée d'un pied au-deſſus du point B.

Lorſque deux poutres AD & CH ſont à quelque diſtance l'une de l'autre, & cependant fortement liées enſemble, l'une des deux ne s'oppoſe nullement par ſa force à la rupture, elle ne fait que ſervir d'appui ; c'eſt à quoi il faudroit faire attention, ſi l'on entreprenoit de rendre le calcul précedent tout-à-fait exact. La poutre CH ne peut pas s'oppoſer à la rupture par la force de ſes fibres, parce qu'elle ſe trouve comprimée dans toute l'étendue de ſa coupe HG, & qu'avant que ſes fibres qui ſont vers G, puiſſent commencer à s'étendre & à agir, il faudroit preſque toujours que l'autre poutre AD fût déja rompue. Mais en récompenſe, cette autre poutre eſt capable d'une plus grande réſiſtance : car nulle de ſes fibres vers D, n'eſt occupée à ſoutenir l'effort de la compreſſion ; toutes ſont en action ; & celles qui ſont vers D, preſque auſſi tendues que celles qui ſont vers B, agiſſent auſſi preſque autant : de ſorte que cette ſeconde poutre réſiſte non-ſeulement davantage, parce qu'elle eſt plus éloignée de l'autre, mais encore parce que toutes ſes fibres font un effort plus égal, & qui a plus de conformité à l'effort abſolu, ou à cet effort que fait une piece de bois, lorſqu'on la tire exactement ſelon ſa longueur.

C'eſt par le concours de toutes ces raiſons que les tuyaux de quelque matiere un peu forte, réſiſtent ſi puiſſamment aux efforts qu'on fait pour les rompre de côté; & c'eſt ce qui ſe rapporte à ce que nous avons dit plus haut de l'effort que produit la groſſeur ſeule. Si toute la matiere qui forme un tuyau, étoit raſſemblée ou reſſerrée dans un ſeul corps, & que le vuide du milieu fût ſupprimé, elle ne réſiſteroit preſque point, par ce que toutes les fibres

feroient trop voisines du point qui sert d'hypomoclion, pendant la rupture. Mais qu'on étende la même quantité de matiere, qu'on la dilate en forme de tuyau, il n'y aura toujours que le même nombre de parties qui résisteront; mais elles le feront davantage, à mesure que le rayon du tuyau sera plus grand. Si nos lumieres sont si foibles que les traits de la Sagesse infinie qui a tout fait nous échappent presque sans cesse, nous sommes au moins à portée de reconnoître celui-ci, par lequel diverses plantes, les plumes des oiseaux, la plûpart des os des animaux, ont reçu une force suffisante; & cela, pour ainsi dire, avec le moins de frais qu'il s'est pu, en épargnant avec art la matiere, afin de diminuer le poids.

III.

Il faut aussi souvent, pour juger de la bonté d'un assemblage de charpente, faire attention à cette seconde espece de force absolue, dont nous avons déja parlé, laquelle peut devenir relative selon les circonstances. Supposons, pour en donner un exemple, que ne trouvant pas de bois propre à faire *une courbe*, ABC (Fig. 45.), dont on a expliqué l'usage dans le chapitre II de la premiere Section, ou la forme de deux parties ABD & CDEF, & qu'on les cheville fortement ensemble. Lorsque la courbe est d'une seule piece, il faut qu'elle se rompe dans sa plus grande épaisseur BF, pour que l'angle que forment les deux jambes se ferme ou s'ouvre: mais la courbe étant composée de deux pieces, il n'y a que les seules chevilles qui s'opposent à la rupture, & il suffit qu'elles cassent, pour que tout l'assemblage manque. Il est vrai qu'elles feront une résistance relative plus ou moins grande, selon qu'elles seront plus ou moins éloignées du point F, qui sert d'hypomoclion. Mais cette résistance, comme il est évident, ne doit jamais être comparable à celle que feroient toutes les fibres contenues dans la coupe faite selon BE, qui résisteroient aussi à proportion de leur distance au point F. D'un autre côté si on mettoit des chevilles de fer, elles ne se rom-

Fig. 45.

Fig. 45. proient peut-être pas ; mais comme tout l'effort qu'elles ſoutiendroient, retomberoit ſur les ſeules parties de bois qui ſont en arriere, & non pas ſur toute la piece, ces parties ſe détacheroient d'autant plus aiſément, qu'elles le pourroient faire en ſe rompant, ſelon même le fil du bois, ou ſelon la longueur des fibres. Il ſuit de-là qu'il eſt très-difficile de rendre ſuffiſamment ſolide une courbe formée de deux pieces. On peut y réuſſir en la chargeant de bandes de fer par dehors l'angle & par dedans ; & en liant outre cela ces bandes l'une à l'autre par d'autres barres ; ſi ce n'eſt qu'il faudroit ſans doute beaucoup mieux la faire alors entierement de fer.

La remarque que nous faiſons ſur l'inconvénient qui ſe trouve dans l'uſage des chevilles ou des cloux, doit avoir lieu dans pluſieurs autres rencontres, & principalement lorſqu'il s'agit d'arrêter les bordages. Comme ils ne ſont jamais aſſez longs pour aller d'une extrémité du navire à l'autre, on ſe contente de clouer les deux extrémités des deux bordages ſur le même bois. Mais au lieu que dans un bordage continu, c'eſt la totalité de ſes fibres qui forme la force ou la réſiſtance, ce n'eſt que la petite partie de bois qui eſt derriere le clou, qui ſoutient tout l'effort dans les bordages mis les uns au bout des autres.

IV.

On peut ſouvent s'épargner la peine d'examiner en détail la force particuliere des parties du navire, en ſe contentant de chercher la loi que doivent ſuivre leurs groſſeurs dans differens vaiſſeaux. Il n'y a pour cela qu'à ſuppoſer que le nombre des pieces eſt toujours le même ; mais qu'on les a rendu plus larges à proportion que le navire eſt plus long ; & il ne s'agira plus que de déterminer leur épaiſſeur. Propoſons-nous la quille, & ſuppoſons donc que ſa largeur eſt proportionnelle à ſa longueur. Dans les navires ſemblables, les ſolidités ou les peſanteurs ſont comme les cubes des longueurs ; & outre cela cette peſanteur, ſelon que le navire eſt plus grand, agit encore davantage,

davantage, soit dans les abordages, soit lorsque le navire *touche*, parce qu'elle est aidée par un bras de levier plus long. Ainsi les forces relatives qu'a le navire pour se briser dans un certain point, sont comme les quarrés quarrés de sa longueur. D'un autre côté la quille est plus large dans le même rapport que la longueur ; & sa force relative dépend deux fois de sa hauteur, puisque la coupe, ou la tranche qui représente la multitude des fibres est plus grande, selon qu'on augmente cette hauteur, & qu'en même-tems les fibres sont appliquées à un bras de levier plus long. C'est-à-dire que les résistances relatives de la quille, sont comme ses largeurs multipliées par les quarrés de ses épaisseurs, ou ce qui revient au même, à cause de la supposition que nous avons faite touchant la largeur, les résistances relatives de la quille sont comme les longueurs du navire, multipliées par les quarrés des épaisseurs de cette piece de bois. Mais ces résistances doivent être égales ou proportionnelles aux efforts relatifs que fait le vaisseau pour se briser, efforts qui sont exprimés par les quarrés quarrés de ses longueurs, il s'ensuit donc (en divisant de part & d'autre par la longueur) que les quarrés des épaisseurs de la quille doivent être comme les cubes des longueurs du Navire. Supposé que le vaisseau soit 4 fois plus long, sa pesanteur seroit 64 fois plus grande, & sa force relative, ou son énergie pour se briser, augmenteroit encore 4 fois, & seroit exprimée par 256. Mais la quille étant plus large dans le même rapport que le navire est plus long, & le quarré de son épaisseur étant comme le cube de la même longueur, sa force relative sera aussi 256 fois plus grande. Car la quille sera 4 fois plus large, & 8 fois plus épaisse ; ce qui fait augmenter sa résistance relative précisément dans ce rapport.

Fig. 45.

Ce sera la même chose pour tous les membres : les quarrés de leurs épaisseurs doivent être comme les cubes des longueurs des Navires. Cependant cette regle n'a lieu que pour prévenir la rupture, ou plutôt l'enfoncement qui se peut faire dans l'endroit même qui reçoit l'abordage, ou

qui eſt expoſé immédiatement à un certain effort. Car ſi on cherche l'épaiſſeur qu'il faut donner, par exemple, aux bordages, pour qu'ils puiſſent maintenir le vaiſſeau dans le même état, ou l'empêcher de ſe rompre vers le milieu, lorſqu'il touche ſur un terrein inégal, & qu'il ne porte que par les deux extrémités, on trouvera que les épaiſſeurs ne doivent pas ſuivre la loi que nous venons de dire; mais qu'elles doivent être encore plus grandes à proportion dans les plus grands navires. L'effort relatif que produit la peſanteur du vaiſſeau, pour cauſer la rupture, eſt toujours comme le quarré quarré de ſa longueur; & les bordages réſiſtent d'autant plus à cet effort, qu'il y en a un plus grand nombre, ou qu'ils forment enſemble une largeur plus grande ſur la ſuperficie de la carene. Leur réſiſtance relative augmente encore par un autre endroit: ſi on prend leur diſtance moyenne au point ſur lequel ſe peut faire la rupture, il ſe trouvera toujours qu'ils ſont ſitués plus avantageuſement, ou appliqués à un bras de levier plus long, lorſque le navire eſt plus grand. Ainſi leur réſiſtance relative augmente comme le quarré de la longueur ſeulement, parce que le navire eſt plus grand: mais cet accroiſſement ne ſuffiſant pas, puiſqu'il faudroit qu'il ſe fit, ſelon le quarré quarré, pour entretenir l'équilibre avec l'effort contraire, il eſt néceſſaire d'y ſuppléer par la plus grande épaiſſeur qu'on donnera aux bordages; & il faut par conſéquent la rendre proportionnelle au quarré de la longueur. Si le vaiſſeau eſt deux fois plus long, deux fois plus large, deux fois plus profond, il faut donc que les bordages, tant ceux qui revêtiſſent la carene, que ceux qui couvrent les ponts, ſoient quatre fois plus épais; & ſi un navire avoit toutes ſes dimenſions ſimples quatre fois plus grandes, il faudroit que les bordages euſſent 16 fois plus d'épaiſſeur. C'eſt ce qu'on à été fort éloigné d'obſerver juſqu'à préſent dans la Marine.

Comme on ne ſçait pas à quelle eſpece d'accident le navire ſera expoſé, il eſt toujours de la prudence de donner à ſes parties la plus grande épaiſſeur que preſcrit l'une

ou l'autre regle. Dans les vaisseaux du troisieme rang, la quille a vers le milieu 19 ou 20 pouces de largeur, & autant d'épaisseur, & quelques pouces de moins vers les deux extrémités; les varangues ont souvent un pied en quarré de grosseur; les baux du premier pont, qu'on met ordinairement à trois pieds de distance l'un de l'autre, ont 16 pouces en quarré, & les bordages ont 4 pouces d'épaisseur. On peut sur cela se regler pour les autres vaisseaux; & supposé qu'on ne trouvât pas d'assez gros arbres pour former les pieces, il n'y auroit qu'à en mettre un plus grand nombre.

CHAPITRE V.

De la figure & de la grosseur que doivent avoir les mâts & les vergues.

I.

AUSSI-TÔT qu'on sçait que dans les corps dont les tranches sont des figures semblables, les résistances relatives sont comme les cubes des diamétres des grosseurs, ainsi qu'on l'a vû vers le commencement du Chapitre précédent, on est en état de déterminer la figure des solides *d'égale résistance*, ou qui résistent également à la rupture dans tous les points de leur longueur. Une puissance est appliquée au sommet A (Fig. 43.) d'un corps AB, & agit dessus selon une direction AG, perpendiculaire à l'axe de ce solide, dont toutes les tranches sont des quarrés ou des cercles; cette puissance tendra à rompre le corps avec plus ou moins de force relative, ou de moment, selon qu'elle sera plus ou moins éloignée de chaque endroit où se peut faire la rupture. Proche du sommet, l'effort relatif de la puissance sera foible; mais à une plus grande distance il sera plus grand, & il sera toujours proportionnel à la

Fig. 43.

Fig. 43. longueur des parties AC de l'axe qui servent de levier à la puissance. Or les résistances relatives du solide, qui sont comme les cubes de ses diametres, doivent être égales à ces efforts relatifs de la puissance, puisqu'on veut qu'il y ait un continuel équilibre. Ainsi les cubes des diametres des grosseurs doivent être comme les longueurs des parties de l'axe, & par conséquent le solide qui résiste par-tout également, doit être un conoïde formé par la premiere parabole cubique. A huit fois plus de distance du sommet, la puissance fait huit fois plus d'effort pour rompre le solide; mais dans cet endroit la grosseur aura un diametre double, ce qui fera que le solide pourra résister huit fois plus. A 27 fois plus de distance du sommet, le solide aura un effort 27 fois plus grand à soutenir de la part de la puissance; mais il sera encore capable de le soutenir, puisqu'en cet endroit son diametre sera trois fois plus grand; ce qui lui donnera 27 fois plus de force.

Il n'est pas nécessaire d'avertir que c'est cette figure que devroient avoir les mâts, pour n'être pas plus sujets à se rompre dans un point que dans un autre : il est sans doute plus à propos d'insister un peu sur la maniere de tracer la parabole cubique dans l'usage ordinaire. Si on divise toute la longueur du mât en 64 parties égales, & son diametre par le pied en 4 parties aussi égales entr'elles, il n'y aura qu'à donner au mât 3 de ces dernieres parties de diametre, vis-à-vis du point où finissent 27 parties de la longueur, à commencer du sommet. On donnera 2 parties de diametre vis-à-vis de la fin de 8 parties de la longueur, & une partie de diametre à la fin de la premiere de la longueur. Pour obtenir un plus grand nombre de points, il n'y a qu'à vis-à-vis de 60 parties, de 55, de 50, de 45, de 40, de 35, de 30, de 25, de 20, de 15, de 10, & de 5 de la longueur, donner de diametre au mât $3\frac{91}{100}$; $3\frac{80}{100}$; $3\frac{68}{100}$; $3\frac{56}{100}$; $3\frac{42}{100}$; $3\frac{27}{100}$; $3\frac{11}{100}$; $2\frac{92}{100}$; $2\frac{71}{100}$; $2\frac{47}{100}$; $2\frac{15}{100}$ & $1\frac{71}{100}$ des mêmes parties, dont le diametre du pied en contient quatre.

A l'égard des vergues, elles ne doivent pas avoir la

même figure; elles doivent se terminer en pointe par les deux extrémités, & chaque moitié doit être formée par la révolution d'une seconde parabole cubique. La raison de cette différence est facile à voir: la puissance qui tend à rompre les vergues, est non-seulement appliquée à moins de distance vers les extrémités; mais elle est aussi plus petite, parce que l'effort de la voile étant distribué tout le long de la vergue, il n'y en a qu'une partie qui tend à la rompre en chaque point. Tout l'effort que le mât doit soutenir, est appliqué à son sommet; ainsi c'est toujours la même force absolue qui travaille à le rompre; au lieu que par rapport à la vergue, l'effort absolu se trouve plus grand à mesure qu'on considere des points plus vers le milieu. Dans ce dernier point la vergue a de toutes manieres le plus grand effort à soutenir; cet effort est non-seulement le plus grand, il est appliqué à la plus grande distance: mais si on examine la vergue en un point, qui soit au quart de sa longueur, on verra que la partie de la voile qui travaille à la rompre, sera deux fois plus petite, & que son centre d'effort sera appliqué outre cela à deux fois moins de distance. En un mot, les forces relatives qui tendent à rompre la vergue, sont comme le quarré des distances à son extrémité voisine; & puisque les résistances doivent faire équilibre avec ces forces, il faut que les cubes des diametres des grosseurs soient comme les quarrés des distances à l'extrémité de la vergue. Il suit de-là que si on divise la moitié de la longueur en 64 parties égales, & le diametre de la grosseur au milieu en 16, il faudra lui donner 9 de ces dernieres parties à la fin de 27 parties de longueur, comptées depuis l'extrémité; 4 parties de diametre vis-à-vis de 8 de longueur, & une partie à la fin d'une.

Fig. 43.

II.

Les deux figures que nous venons d'indiquer, sont vraisemblablement celles qu'il faut donner dans les plus grands vaisseaux aux mâts & aux vergues. Comme il n'est pas pos-

Fig. 43. fible de trouver d'arbres affez hauts & affez gros, on forme le milieu du mât par une longue piece qu'on nomme *méche*, & on la revêtit de quatre ou cinq autres qu'on applique deffus, & qu'on ferre avec de gros cercles de fer, mis de diftance en diftance. On trouve des arbres affez gros pour fervir de mâts aux moindres navires : les mâts formés d'une feule piece, font beaucoup plus forts; il n'eft pas néceffaire de les rendre fi gros à proportion, & il s'en faut même beaucoup. Mais il faut auffi, à ce que je crois, leur donner une autre figure, parce que la réfiftance qu'ils font, eft à peu près la même que fi l'action de la puiffance qui tend à les faire rompre, croiffoit en plus grande raifon que la longueur du levier auquel elle eft appliquée. Comparons, pour nous mieux expliquer, deux pieces de bois fcellées dans un mur par une de leurs extrémités, & chargées par l'autre d'un grand poids qui les faffe rompre; & fuppofons que ces deux pieces foient exactement de la même groffeur, mais que l'une foit deux fois plus longue que l'autre. Il eft évident qu'à l'égard de la feconde, le levier étant deux fois plus long, il ne faudra mettre à fon extrémité qu'un poids qui fera la moitié du premier. C'eft ce qui eft vrai, fuppofé qu'on faffe abftraction de la pefanteur des deux pieces. Car cette pefanteur eft non-feulement deux fois plus grande dans le fecond cas, elle eft encore appliquée à un levier deux fois plus long. Ainfi elle a beaucoup plus de part à la rupture, elle y contribue quatre fois plus; & par cette raifon le poids qu'on met à l'extrémité de la piece, doit être beaucoup plus petit que la moitié.

Mais fuppofons que les pieces foient fans pefanteur, ou ce qui vaut mieux, joignons leur pefanteur à l'effort de la puiffance qui eft appliquée à l'extrémité, & confiderons le tout comme un feul poids. Lorfque la piece fera deux fois plus longue, il faudra d'abord diminuer le poids de moitié, conformément au grand principe de Méchanique. Mais ce poids étant moindre, les fibres dans le point de la rupture, feront moins tirées verticalement de haut en bas,

elles feront moins obligées de fe coucher les unes fur les autres; l'effort abfolu qu'aura l'hypomoclion à foutenir, fera moins grand, & les fibres tendues feulement dans le fens horifontal par l'effet du levier angulaire, feront plus capables de réfifter; ce qui prouve qu'elles pourroient foutenir un poids qui feroit un peu plus grand que la moitié, fi ce n'eft qu'il y a encore une ou deux confidérations à ajouter. C'eft que la piece de bois dans toute la partie qui la rend plus longue, n'eft pas exempte de fe courber : cette nouvelle flexion allonge néceffairement les fibres, & cet allongement ne laiffe pas de contribuer à les roidir dans l'endroit même de la rupture, ce qui fait que la piece de bois y eft plus expofée à fe rompre. Outre cela, comme le poids eft fort éloigné, il fe trouve un grand efpace où la piece a fenfiblement le même effort à foutenir : ce n'eft pas feulement un efpace de 2 ou trois pieds, mais c'en eft un peut-être de 10 ou 15 : au lieu que lorfque la piece eft moins longue, ou que le poids eft appliqué à très-peu de diftance, l'effort n'eft grand que dans un feul point, & il diminue fubitement à caufe du voifinage de la puiffance. Cette difference d'action eft fi grande, que lorfque les pieces de bois font très-courtes, leur rupture eft ordinairement beaucoup plus nette, & la fection fe fait prefque perpendiculairement à la longueur : au lieu que lorfque la piece eft très-longue, la rupture fe fait prefque toujours très-obliquement, en commençant très-loin en deffus, & en fe terminant en deffous vers le point d'appui.

Il y a de cette forte bien à diftinguer entre les differens cas. Si une piece de bois eft prolongée par une barre de fer, ou même par une autre piece de bois fimplement entée à la premiere, & qu'on applique un grand poids à l'extrémité, on peut alors avec beaucoup plus de fondement, ne confiderer que la feule longueur du levier. Mais fi c'eft une feule piece de bois beaucoup plus longue, il faut non-feulement avoir égard au plus long bras de levier, mais encore faire attention, comme nous l'avons dit, à la fléxion que fouffre cette plus longue piece dans fon excès

Fig. 41. de longueur ; flexion qui occasionnant un plus grand allongement de fibres dans tous les points, accelere infailliblement la rupture. Il faut considerer encore que quoique dans la rigueur l'effort ne soit le plus grand que dans un seul endroit, il est sensiblement le même dans un assez grand espace lorsque la piece est plus longue, ce qui fait qu'elle se trouve comme surchargée, & qu'elle travaille davantage. Il est vrai que cette seconde considération a toujours lieu, & que s'il est permis de la négliger, c'est en supposant qu'elle est peu de conséquence par rapport à la premiere.

Tout ceci demanderoit à être discuté par de nouvelles expériences, qu'il faudroit faire avec d'autant plus d'art, qu'il s'agit de séparer les differens cas les uns des autres, & de démêler les effets partiaux qu'on doit attribuer à chaque cause. Il faudroit aussi faire des épreuves sur les differentes matieres ; car sans doute que le verre & les métaux ne sont pas sujets à la même loi lorsqu'ils se rompent. Nous pouvons, je crois, en attendant, supposer à l'égard du bois, que l'énergie ou le moment de l'effort qui travaille à le rompre, dépend de la longueur du bras de levier élevée à une certaine puissance imparfaite, comme à celle dont $\frac{4}{3}$ ou $\frac{4}{5}$ est l'exposant. Il me paroît que jusqu'à ce que nous acquerions de nouvelles lumieres, on peut employer avec succès la derniere de ces puissances ; car on viendra à bout par son moyen de représenter assez exactement les résultats des expériences de M. de Buffon, lesquelles méritent d'autant plus de servir de regle, qu'elles ont été faites avec soin, & qu'elles ont l'avantage d'avoir été exécutées en grand. Ainsi supposé qu'une piece de bois ait soutenu à son extrémité un poids de 20000 livres, une autre de la même grosseur, mais qui sera 4 fois plus longue, ne sera pas capable de soutenir 5000 livres : le poids doit être diminué dans le rapport de $4^{\frac{4}{5}}$ à $1^{\frac{4}{5}}$; de sorte que la seconde piece ne soutiendra gueres que 3550 livres.

Il suit clairement de-là qu'on doit donner une autre figure

gure aux mâts qui ne sont formés que d'un *seul brin*. Nommant x les longueurs de leurs différentes parties, à commencer à leur sommet, & y le diametre de leur grosseur, on aura $x^{\frac{5}{4}}$ pour les divers efforts relatifs que chaque point doit soutenir, & comme y^3 représentera toujours la résistance en chaque endroit, on aura $x^{\frac{5}{4}} = y^3$ & $x^5 = y^{12}$: ce qui nous apprend que la figure que doit avoir le mât, differe alors beaucoup moins du conoïde formé par la parabole ordinaire. On peut suivre de plus près l'explication physique, & venir au même résultat. L'effort que fait la puissance pour rompre le solide, est proportionnel à la longueur x du bras de levier; mais la résistance du mât n'est pas y^3, parce qu'elle est d'autant moindre que le solide est plus long. Cette résistance n'est pas précisément moindre dans le même rapport, que x est plus grande; mais elle est à peu près $\frac{y^3}{x^{\frac{1}{4}}}$ pour le bois. Elle sera sans doute différente dans toutes les autres matieres; & il y a bien lieu de croire que le numérateur y^3 de l'expression doit aussi un peu changer; ou qu'au moins la puissance imparfaite à laquelle on doit élever x, dépend un peu de la grandeur du diametre y du solide. Enfin on a $\frac{y^3}{x^{\frac{1}{4}}} = x$, & le reste comme ci-dessus.

Fig. 43.

Quant aux vergues, elles doivent toujours être plus aiguës par leurs deux extremités. L'effort absolu qui travaille à les rompre, est désigné par x, qui marque la largeur des différentes parties de la voile, à commencer depuis l'extrémité voisine. Cet effort est outre cela appliqué à un levier dont la longueur est proportionnelle à x. Ainsi on a x^2 pour l'énergie, ou pour la force relative qui doit être égale à la résistance. $\frac{y^3}{x^{\frac{1}{4}}}$ On a donc $\frac{y^3}{x^{\frac{1}{4}}} = x^2$, ou $y^4 = x^3$ pour les vergues; ce qui rend leur forme encore plus conique.

III.

On n'a pas dans la marine donné aux mâts & aux ver-

gues les figures qu'on vient d'indiquer : on ne s'y eſt pas moins trompé ſur la figure que ſur la hauteur de la mâture, quoiqu'on ait ſenti quelque choſe de la diverſité de forme que doivent avoir les mâts & les vergues ; mais les Conſtructeurs ont néanmoins rencontré auſſi parfaitement qu'il étoit poſſible, les groſſeurs qu'il falloit leur donner par rapport aux autres dimenſions. Lorſqu'ils ont éprouvé que certains mâts étoient plus ſujets à ſe rompre que d'autres, ils les ont rendus plus gros ; & à force de tentatives, ils les ont mis à-peu-près dans le même état à cet égard, que ſi la Géométrie aidée de l'expérience, s'en étoit mêlée.

Nous ne nous arrêterons pas, afin d'être plus courts, à prouver ce que nous avançons ici en faveur de cette partie des regles vulgaires ; le Lecteur, s'il le juge à-propos, pourra s'en convaincre aiſément, en ſuivant à-peu-près le même chemin qui va nous conduire à la détermination des groſſeurs qu'il faudra donner à la mâture, auſſi-tôt qu'on la réformera ſur les vues que nous avons commencé d'expoſer dans la ſection précedente, & que nous tâcherons dans la ſuite de porter à une plus grande perfection. Propoſons-nous un vaiſſeau du premier rang, & ſupprimons les voiles de perroquet, en nous contentant de la baſſe voile, & de celle de hunier qui eſt au-deſſus, leſquelles forment enſemble un exagone irrégulier, comme le repréſente la figure 46. Les deux voiles qui ſeront égales, mais dans une ſituation contraire, auront chacune en particulier environ 48 pieds de hauteur, ou de-chûte ; leur plus grande largeur CD ſera de 120 pieds, & leur moindre de 96. Ces dimenſions donnent à chaque voile 5184 pieds quarrés de ſurface ; & ſi nous ſuppoſons que le vent eſt aſſez violent pour faire un effort de 5 livres ſur chaque pied quarré de ſurface, l'impulſion entiere que recevra la voile de hunier ABDC, ſera de 25920 livres. Mais cet effort entier ne travaille pas à rompre le mât de hune GI ; il ſe diſtribue en haut & en bas ; & il n'y a que la partie qui agit en haut qui puiſſe avoir part à la rupture dont il eſt queſtion, puiſque l'autre par-

Fig. 46.

tie s'exerce sur la vergue CD, & ne peut se transmettre qu'au mât qui est plus bas. Pour faire le partage de l'effort total, il n'y a qu'à le diviser en raison réciproque des deux distances du centre de gravité K au haut & au bas de la surface ABDC. L'erreur qu'on commettra à cause de la courbure de la voile qu'on néglige, sera toujours comme insensible; notre attention à éviter les discussions trop délicates de Géométrie, lorsqu'elles ne sont pas absolument nécessaires, nous fera passer encore sur quelques autres considérations, parce qu'elles ne tirent pas à conséquence. Le centre de gravité ou d'effort K de la voile, est environ 23 pieds au-dessus du point I, & 25 au-dessous du point G; & on trouve par le partage que nous venons d'indiquer, que la partie de l'effort qui s'exerce dans le dernier point G, est de 12420 livres. Or le mât de hune GI n'est chargé d'aucun autre effort que de celui-ci qui agit en G perpendiculairement à sa longueur.

Fig. 46.

Le connoïde qui forme le mât, doit donc avoir son sommet en G, & il n'est plus question que de déterminer la grosseur qu'il faut lui donner, pour qu'il puisse résister à un effort de 12420 livres appliqué à un bras de levier GI, long de 48 pieds. Le mât qui est en état de soutenir cet effort, doit être capable d'en soutenir un 48 fois plus grand qui seroit appliqué à 1 pied de distance. C'est-à-dire que le mât doit avoir assez de grosseur par le bas pour soutenir un effort de 596160 livres, qui ne seroit éloigné que d'un pied. On fait ordinairement toute la mâture de sapin, à cause de la légereté & de la flexibilité de ce bois, ce qui le rend très-propre à résister à un effort latéral; & on peut prendre pour principe qu'un bâton cylindrique de sapin d'un pouce de diametre, ne se rompt que par un poids de 122 livres appliqué à un pied de distance. J'ai trouvé de ce bois qui se rompoit par un poids qui étoit seulement de 98 livres; ainsi il ne faut pas se fier à une seule expérience: mais si nous nous arrêtons au poids de 122 livres, nous conclurons que le mât doit être environ 4886 fois plus fort que les bâtons qui ont servi à nos

Fig. 46. épreuves, & puiſque les forces relatives ſont comme les cubes des diametres; il n'y a qu'à extraire la racine cubique de 4886 pour ſçavoir combien le mât doit avoir de pouces de diametre, ou doit être plus gros que le bâton. En faiſant l'opération, on trouve environ 17; ce qui montre qu'il ſuffit de donner au mât de hune un peu plus de 17 pouces de diametre par ſon pied, pour qu'il ſoutienne l'effort d'un vent aſſez impetueux pour faire une impreſſion de 5 livres ſur chaque pied quarré de ſurface. Il eſt vrai qu'il faut rendre ce mât beaucoup plus gros, ſupoſé qu'on doive avoir égard aux conſidérations phyſiques ſur leſquelles nous avons inſiſté dans l'article précédent. Pour que le mât puiſſe ſoutenir à 48 pieds de diſtance un effort de 12420 livres, il faut qu'il puiſſe en ſoutenir un d'environ 15669000 à 1 pied, ou qu'il ſoit environ 12860 fois plus fort que le bâton d'expérience, & il ne peut réſiſter à un ſi grand effort que lorſqu'il a un diametre d'environ 23 pouces, comme on le voit en extrayant la racine cubique de 12860.

Si du mât de hune nous deſcendons au grand mât, nous verrons qu'il doit ſoutenir tout l'effort que fait le vent ſur le hunier, & de plus la partie de l'effort de la voile baſſe qui tombe ſur le point I. L'autre partie de l'effort de cette derniere voile n'eſt pas perdue, elle contribue, comme la premiere, à la promptitude du ſillage; mais comme elle tranſmet ſon action au navire même, elle ne travaille en aucune maniere à rompre la mâture. L'effort que fait le hunier entier eſt de 25920 livres, & il réſide dans le point K, qui eſt le centre de gravité de la ſurface de la voile. D'un autre côté, c'eſt la plus grande partie de l'effort de la voile inférieure qui agit en I; & cet effort partial eſt de 13500 livres. Cela ſuppoſé, il ſuffit de partager la diſtance IK en raiſon réciproque de 25920 & de 13500, pour avoir le centre d'effort commun L, dans lequel les deux efforts ſe réuniſſent; ce point eſt environ 8 pieds au-deſſus de I, & 56 au-deſſus de H; c'eſt donc à cette hauteur qu'il faut conſidérer la puiſſance totale de 39420 livres qui

agit sur le mât inférieur perpendiculairement à sa longueur. Tout l'effort se réunissant ainsi dans un seul point, le mât est dans le même cas qu'un solide exposé à l'action d'une seule puissance appliquée à son sommet. Il doit avoir aussi par conséquent la forme d'un conoïde produit par la révolution d'une premiere parabole cubique, & le point L est naturellement son sommet, ou la tête de son tenon. Fig. 46.

Mais puisque le mât inférieur doit être assez gros pour soutenir un effort de 39420 livres appliqué à 56 pieds de distance de son pied, il doit l'être aussi assez pour soutenir un effort 56 fois plus grand, ou un effort de 2207520 livres qui ne seroit qu'a un pied de distance. Ainsi il doit être environ 18094 fois plus fort que le bâton d'expérience dont nous avons parlé ci-devant, qui ne soutient que 122 livres. Pour donner effectivement cette force au mât, il faut qu'il ait environ $26\frac{1}{10}$ fois plus de grosseur; car $26\frac{1}{10}$ est à-peu-près la racine cubique de 18094. C'est-à-dire donc que le grand mât doit avoir, dans les vaisseaux du premier rang, un peu plus de $26\frac{1}{10}$ pouces de diametre, pour pouvoir résister à l'impulsion du vent violent que nous avons supposé.

IV.

Il est un peu plus difficile de regler la grosseur des vergues, parce que l'effort qu'elles ont à soutenir dépend non seulement de l'impulsion du vent, mais aussi du plus ou du mois de force que les marins employent pour tendre les voiles. Supposé que ITH (Fig. 47.) représente la courbure de la voile inférieure depuis le haut jusqu'en bas, & GVI la courbure de la supérieure; il est évident que la voile inférieure transmettra son action aux deux points I & H, selon la direction même qu'elle a dans ces deux points, ou selon ses tangentes IL & HL. Ainsi son effort absolu, qui est représenté par OL, se décomposera dans les deux partiaux ML & NL; par la même raison l'effort total SP, que fait le vent sur toute l'étendue de la voile supérieure GVI, se décomposera dans les deux partiaux Fig. 47.

Fig. 47 RP & QP qui s'exerceront selon les deux tangentes GP & IP. La premiere RP de ces deux dernieres forces tend à rompre le mât de hune, en agissant sur son sommet, selon GP ; cependant comme elle agit obliquement, elle se décompose encore : une de ses parties s'épuise en tirant le mât de haut en bas selon sa longueur, & l'autre, qui agit perpendiculairement, est à-peu-près la moitié de SP. C'est elle que nous avons déja considerée & que nous avons trouvée, en divisant l'effort total SP réciproquement aux deux distances du centre de gravité de la voile à son sommet & à sa base. Mais la force même RP agit perpendiculairement contre la vergue supérieure, & on peut remarquer qu'à mesure qu'on tend la voile davantage, l'angle en P que forment les deux tangentes GP & IP, se trouve plus ouvert, & que les forces résultantes RP & QP deviennent plus grandes par rapport à l'effort primitif SP. Les forces RP & QP deviendroient même infinies, si on pouvoit tendre assez la voile pour que toute sa courbure GVI disparût ; alors l'effort RP romproit infailliblement la vergue, quelque grosseur qu'elle eût.

Il est donc à-propos de ne pas trop tendre les voiles, & il paroît qu'on doit se contenter que l'effort RP soit égal à l'effort SP; ce qui arrive à-peu-près lorsque l'angle formé par les deux tangentes en P, sera d'environ 120 degrés, ou que la voile fera en haut & en bas en G & en I avec le mât, des angles d'environ 30 degrés. Alors l'effort RP sera de 25920 livres ; mais il suffit que la vergue puisse en soutenir seulement la moitié 12960 livres ; car pendant qu'une moitié, comme GBDI de la voile ABDC (Fig. 46.) travaille à rompre la vergue au milieu en G, l'autre moitié AGIC ne fait qu'entretenir l'équilibre, ou que maintenir la vergue dans la même situation, à-peu-près de la même maniere que le mur dans lequel est scellé l'extrémitée d'une piece de bois, sert à rendre fixe cette extrémité, pendant que le poids qu'on met à l'autre bout cause la rupture. En un mot, ce n'est qu'un effort de 12960 livres, qui travaille à rompre la vergue supérieure en G, & cet effort est

appliqué en M au milieu de GB à 24 pieds de distance. Or ce seroit la même chose si cet effort étoit 24 fois plus grand, ou de 311040 livres, & qu'il ne fût appliqué qu'à un pied de distance. Ainsi la vergue supérieure doit être environ 2600 fois plus forte que le bâton d'un pouce de diametre, qui soutient 122 livres ; & il suit de-là qu'elle doit avoir dans son milieu environ 13 $\frac{4}{5}$ pouces de diametre.

La vergue du milieu aura à-peu-près le même effort à soutenir : car de l'effort ML (Fig. 47.) que fait la voile inférieure sur le point I, selon la tangente IL, & de l'effort QP que fait la voile supérieure sur le même point selon la tangente IP, il doit résulter un effort composé, ou commun, qui s'exercera horisontalement, & qui sera à-peu-près égal à chacun des deux premiers. C'est-à-dire que la vergue intermédiaire aura aussi un effort de 12960 livres à soutenir, comme la supérieure ; & cependant elle doit être plus grosse, parce que cet effort est appliqué à une plus grande distance. Cet effort s'exerce dans le point N (Fig. 46.) qui est à 30 pieds du point I, puisque la vergue entiere a 120 pieds de longueur ; & comme il agit de la même maniere qu'un autre effort qui seroit 30 fois plus grand, ou qui étant de 388800 livres, seroit appliqué à un pied de distance, il s'ensuit que la vergue intermédiaire doit être environ 3186 fois plus forte que le bâton de sapin qui nous a toujours servi de terme de comparaison, & qu'elle doit avoir par conséquent environ 14 $\frac{3}{10}$ pouces de diametre en son milieu. Au surplus, on ne doit pas s'étonner si nous donnons beaucoup moins de grosseur à nos mâts & à nos vergues qu'on ne l'a fait jusqu'à présent. Nos voiles n'ont pas moins d'étendue ni moins de force absolue pour faire singler le navire, que les voiles ordinaires : mais comme elles ont beaucoup moins de hauteur, elles doivent avoir moins de moment, ou de force relative, pour produire les mauvais effets.

Fig. 47.

V.

Lorsque les navires seront parfaitement semblables, & qu'on observera les regles de mâture que nous avons établies dans la section précédente *, il ne sera pas nécessaire de recommencer les calculs pour déterminer la grosseur de la mâture de chaque vaisseau. La force relative qu'ont les voiles pour faire rompre leurs mâts, est à-peu-près la même que celle qu'elles ont pour faire incliner le navire ; & cette seconde force étant en équilibre avec celle qu'a le vaisseau pour se soutenir, laquelle est proportionnelle au quarré quarré de sa longueur, il s'ensuit que dans les navires dont la mâture est également bien disposée, la force relative qu'ont les voiles pour faire rompre les mâts, est comme le quarré quarré de la longueur du navire. Ainsi pour que les mâts soutiennent cet effort, il faut que les cubes de leur diametre soient comme les quarrés quarrés des longueurs des vaisseaux, & que par conséquent leurs diametres soient comme les racines cubiques des quarrés quarrés de ces longueurs, ou qu'ils soient comme les mêmes longueurs élevées à la puissance qui a $\frac{4}{3}$ pour exposant.

* Chap. VI.

Cela supposé, il n'y aura qu'à faire par les logarithmes l'analogie suivante, pour trouver la grosseur des mâts de tous les navires qui seront semblables aux vaisseaux du premier rang, dont nous venons d'examiner les dimensions de la mâture. On mettra au premier terme les $\frac{4}{3}$ du logarithme de la longueur du vaisseau du premier rang ; au second terme le logarithme du diametre de ses mâts ; au troisieme terme les $\frac{4}{3}$ du logarithme de la longueur des autres navires dont il sera question ; & on aura au quatrieme terme le logarithme du diametre de leur mât. Le vaisseau du premier rang a 172 pieds de long, & son mât de hune doit avoir 17 pouces de diametre : si on veut donc avoir le diametre du mât de hune pour un navire semblable qui n'a que 150 pieds de long, on aura cette proportion Arithmétique : 2.7944105 | 1.2304489 || 2.7201141 | 1.1561525 ;

1.1561525 ; & le quatrieme terme, qui répond à environ 14 $\frac{3}{10}$, apprendra qu'il faut donner 14 $\frac{3}{10}$ pouces de diametre au mât de hune dans le vaisseau dont il s'agit. Au lieu de comparer les grosseurs des mâts aux dimensions des navires, on peut les comparer immédiatement aux longueurs même des mâts. Les quarrés des hauteurs de la mâture sont comme les cubes des longueurs des navires. Or il suit de-là que les longueurs des mâts élevées à la puissance $\frac{8}{9}$, sont comme les longueurs des navires élevées à la puissance $\frac{4}{3}$, & qu'elles sont donc comme les diametres des mâts.

Fig. 47.

On trouvera aussi à peu près de la même maniere, & dans les mêmes circonstances, les grosseurs des vergues : on reconnoîtra aisément que leurs diametres sont sensiblement comme les racines sixiemes des septiemes puissances des longueurs des vaisseaux. Nous avons vu dans le Chapitre que nous venons de citer, que les quarrés des hauteurs des mâts sont comme les cubes des longueurs des navires : d'où il suit que les hauteurs de la mâture sont comme les racines quarrées des cubes des longueurs des navires, ou comme ces longueurs élevées à la puissance dont $\frac{3}{2}$ est l'exposant. Si on multiplie donc les hauteurs par les largeurs des voiles, qui sont en même rapport que les largeurs ou les longueurs du Navire, on aura l'étendue des voiles en même raison que les longueurs des navires élevées à la puissance $\frac{5}{2}$; & si on multiplie cette étendue encore par la largeur, pour avoir le moment ou la force relative qui tend à rompre la vergue, on aura ce moment en même raison que les longueurs du navire élevées à la puissance $\frac{7}{2}$. Ainsi les résistances relatives des vergues, ou ce qui revient au même, les cubes de leurs diametres, doivent être comme les longueurs des navires élevées à la puissance dont $\frac{7}{2}$ est l'exposant : & par conséquent les diametres mêmes des vergues sont comme les longueurs élevées à la puissance $\frac{7}{6}$. Il suit de-là qu'on peut faire cette analogie, ou proportion arithmétique : mettre au premier terme les $\frac{7}{6}$ du logarithme de la longueur du vaisseau du

Fig. 47. premier rang; au second terme le logarithme du diametre de ses vergues; au troisieme terme les $\frac{7}{6}$ du logarithme de la longueur de tout autre navire proposé, & qu'on aura au quatrieme le logarithme du diametre des vergues de ce dernier navire. Comme on peut mettre dans la proportion précédente les longueurs des vergues à la place des longueurs des navires, puisqu'elles sont en même rapport, il s'ensuit que les diametres des vergues sont comme les puissances $\frac{7}{6}$ de leurs longueurs dans les navires de differentes grandeurs.

CHAPITRE VI.

De la résistance des cordages, & de la maniere de les rendre plus forts.

IL ne nous reste plus qu'à examiner la force absolue des cordages, ou la force dont ils sont capables, lorsqu'on les tire selon le sens de leur longueur. Il semble que lorsqu'il sont formés de chanvre de la même qualité, leur force doit être proportionnelle à leur grosseur absolue, ou à l'étendue de leur coupe faite perpendiculairement à leur longueur, puisque cette étendue répond à la quantité de matiere qu'ils contiennent. Si un cordage a trois fois plus de circonférence, l'étendue de sa coupe sera 9 fois plus grande; il sera formé de 9 fois plus de parties qui résisteront; & il devroit avoir par conséquent 9 fois plus de force. Mais la difficulté de bien filer les cordages, fait que les gros ne résistent pas autant qu'ils le devroient selon cette regle, & il s'en faut même beaucoup. *En cablant* un cordage, plusieurs des fils se rompent ou s'alterent extrêmement; plusieurs, outre cela, se trouvent lâches, pendant que d'autres sont très-tendus, & déja chargés d'un grand effort par la torsion; & il arrive que ces derniers ont à soutenir le fardeau auquel on expose le cordage, avant

que les autres agiſſent en rien. Les premiers fils doivent donc ſe rompre, ſi l'effort qu'ils ſupportent eſt trop grand ; & les ſeconds fils chargés à leur tour, céderont auſſi : au lieu que ſi tous avoient reſiſté enſemble, ils euſſent pu, en s'aidant mutuellement les uns les autres, montrer une force beaucoup plus grande. Ce défaut doit avoir principalement lieu dans les plus gros cordages & dans les cables. Car outre qu'on n'apporte pas toujours le même ſoin en faiſant les gros cordages, qu'une corde menue dans laquelle l'ouvrier ſçait qu'on reconnoîtroit plus aiſément ſa négligence, la torſion qui eſt plus grande, altere un plus grand nombre de fils : de ſorte qu'il s'en trouve toujours davantage ou qui ſont trop tendus, ou qui ne le ſont pas aſſez, ou qui ſont déja rompus.

Chaque fil ſimple, ou chaque brin de chanvre eſt capable d'un grand effort à proportion de ſa groſſeur ; il eſt beaucoup plus fort qu'un égal fil de lin. C'eſt ce qu'il eſt facile d'expérimenter, & ce que l'expérience a déja appris d'avance par l'uſage des differentes toiles. Mais ſi avec pluſieurs brins on fait une ficelle, il ne faut plus compter ſur la ſeule force abſolue de chaque brin ; car comme ils ne ſont pas aſſez longs, & qu'ils ſont ſimplement engagés les uns avec les autres par la maniere dont ils ſont filés, la ficelle pourroit ſe rompre, ſans que chaque brin en particulier ſe caſſât. C'eſt pourquoi l'âpreté de chaque fil ſimple, qui contribue à l'empêcher de gliſſer entre les autres, aide beaucoup à la force du tout, & le chanvre a encore de ce côté un grand avantage ſur le lin. Il en a auſſi à peu près par la même raiſon ſur *la pite*, une eſpece d'aloés, dont on fait des cordages dans pluſieurs endroits de l'Amérique. La pite a de longues feuilles fort épaiſſes qui ſe terminent en pointe, & on tire, en ſubdiviſant cette feuille ſelon ſa longueur & celle de ſes fibres, des fils ſimples qui ſont aſſez longs & aſſez forts ; mais faute d'être ſouples, ils ne ſe joignent jamais bien enſemble, & ne forment pas un corps aſſez ſerré. Ainſi on voit que plu-

ſieurs circonſtances ſont néceſſaires pour qu'une matiere ſoit propre à faire de bons cordages ; il faut que chacune de ſes parties, ou de ſes brins, ait beaucoup de force, qu'en même-tems ils ſoient ſouples, & qu'outre cela leur ſurface ne ſoit pas polie ou lice, mais qu'elle ſoit rude. On peut encore ajouter une quatrieme condition qui aide beaucoup aux autres, & qui peut même y ſuppléer, aux moins aux dernieres : c'eſt que les fils ſimples ſoient fort longs. Cette quatrieme condition diſpenſe, lorſqu'on file le cordage, de le trop tourner, ce qu'on a été obligé de faire, lorſqu'on a voulu, par exemple, ſe ſervir de coton. La longueur des fils eſt cauſe qu'ils ſe trouvent ſuffiſamment engagés les uns & les autres par la moindre torſion ; & chaque fil ayant enſuite moins ſouffert d'altération, & étant outre cela moins oblique par rapport à la longueur de la corde, tout le cordage doit réſiſter beaucoup davantage.

Il eſt facile de voir que ſi on pouvoit engager les fils les uns avec les autres, ſans les tordre, les cordages ſeroient beaucoup plus forts. Indépendamment de l'effort dont ſont déja chargés les fils tordus, leur obliquité par rapport à la longueur de la corde, doit ſeule en diminuer la force d'un tiers. Puiſque c'eſt l'uſage en France, comme nous l'avons déja dit, & apparemment que ce ſera à peu près la même choſe ailleurs, de tourner les gros cordages juſqu'à ce que leur longueur ſoit réduite aux deux tiers ; nos cables ont 120 braſſes de longueur ou 600 pieds, & pour les faire, on ſe ſert de fils qui ont 180 braſſes ou 900 pieds. Or ſi AB (Fig. 48.) eſt un de ces premiers fils qu'on nomme *fil de carret*, & qu'il ait par rapport à la longueur des cordages qu'il contribue à former, la ſituation qu'a AB par rapport à BC, ou à AD, la force ſelon ſa propre longueur AB ſe décompoſera, & en fournira une moindre ſelon la direction BC, ou DA, du cordage, dans le même rapport que AB eſt plus grand que BC, ou DA ; c'eſt-à-dire dans le rapport de 3 à 2. D'un autre côté la force abſolue *des fils de carret* eſt très-variable ; il s'en

Fig. 48.

trouve qui sont deux fois plus foibles les uns que les autres, quoiqu'on se soit proposé de les rendre égaux, & de leur donner à peu près la même grosseur (environ une ligne & demie de circonférence). J'en ai vu qui soutenoient jusqu'à 120 livres, & d'autres qui se rompoient lorsqu'on les chargeoit seulement de 50; indépendamment de ce qu'ils sont toujours plus foibles, lorsqu'ils sont plus longs, parce qu'ils ont plus d'endroits défectueux. Il est de cette sorte extrêmement difficile d'estimer leur force moyenne: cependant je crois qu'on peut la mettre à 80 livres; il faut donc en rabatre un tiers, puisque cette force de 80 livres ne peut s'exercer que selon la propre longueur du fil, & non pas selon celle du cable qui est fort differente, & selon laquelle, comme nous venons de le voir, il n'y a que les deux tiers de la force totale qui agisse. Ainsi on ne doit gueres évaluer qu'à 53 ou 54 livres, l'effort que peut soutenir chaque fil de carret dans le cable ou le cordage qu'il forme.

Fig. 48.

Ces fils peuvent être plus ou moins gros dans differentes Corderies; mais aussi-tôt qu'on a compté une fois combien il en entre dans un cordage d'une certaine grosseur, après qu'on aura expérimenté leur force, on pourra sçavoir à peu près la force totale du cordage, & juger de celle de tous les autres. Il n'importe ensuite que quelques autres cordages soient faits avec du fil de carret plus ou moins gros; car si ce fil est, par exemple, plus gros, il sera plus fort; mais il en entrera moins dans le cordage qui est d'une circonference déterminée, & la force totale sera toujours sensiblement la même, pourvu que le chanvre soit de la même qualité. J'ai ajouté qu'on ne sçaura qu'à peu près la force totale, cette restriction est nécessaire: car il peut arriver qu'il n'y ait que les trois quarts, ou les quatre cinquiemes du nombre des fils qui soutiennent le premier effort, les autres n'étant pas assez tendus; & dans ce cas le cordage n'auroit que les trois quarts ou les quatre cinquiemes de la force qu'il devroit avoir. On peut malgré tout cela prendre pour regle pour

les cordages qu'on fait ordinairement en France, que le nombre des tonneaux qu'ils peuvent ſoutenir ſans riſque, eſt exprimé par le quart du quarré de leur groſſeur en pouces. Si un cordage a 10 pouces de groſſeur, c'eſt-à-dire de circonference, le quarré ſera 100, dont le quart 25 marque que le cordage peut ſoutenir au moins 25 tonneaux, ou 50000 livres, ſans qu'on ait à craindre qu'il ſe rompe. Par la même raiſon, un cordage de 8 pouces de circonference doit ſoutenir 16 tonneaux, ou 32000 livres : un cable de 24 pouces de groſſeur doit porter 144 tonneaux, ou 288000 livres.

Au lieu de tourner ou de *cabler* les fils, comme on le fait toujours pour former les cordes, il vaudroit quelquefois mieux, ainſi que l'a propoſé M. de Muſſchenbroek, en faire des faiſceaux, qu'on lieroit fortement par dehors par d'autres fils mis en ſpirale; & avec ces faiſceaux on en formeroit d'autres plus gros. Il n'y a point de doute que chaque fil étant enſuite ſitué parallelement à l'axe de la corde, & n'ayant outre cela été ſujet à aucune torſion conſidérable, ne réſiſtât beaucoup davantage. Nous n'oſerions cependant aſſurer que cette maniere de former les cordages, fût bonne pour les manœuvres courantes, qui paſſent continuellement dans des poulies, & qui ſont expoſées à des frotemens qui feroient rompre en peu de jours, les fils extérieurs. Peut-être ſeroit-il plus à propos de ſe ſervir pour ces manœuvres d'un autre expédient que nous offre le même Auteur, d'entrelacer les fils les uns dans les autres, à peu près comme ils le font dans les *garcettes*, ou dans les treſſes rondes; mais il n'y auroit, à ce que je crois, aucun inconvénient à former de faiſceaux, les étais, les haubans, & toutes les autres manœuvres *dormantes*. L'avantage qu'on y trouveroit, ſeroit très-conſidérable : car il réſulte des expériences de M. de Muſſchenbroek qu'on pourroit enſuite donner beaucoup moins de groſſeur abſolue aux cordages, ou y faire entrer moins de chanvre, ce qui les rendroit en même-tems moins peſants & moins chers. M. du Hamel a trouvé la même choſe, comme

on le verra dans un excellent traité qu'il nous prépare ſur la corderie. Lorſque ce traité ſera public, la petite regle que nous venons de donner, ne ſera plus d'uſage : il faudra en former quelqu'autre ſur le même modele.

Après tout, ſoit qu'on adopte cette propoſition, ou qu'on ſuive l'ancienne pratique, il eſt toujours eſſentiel de prendre de grandes précautions pour faire enſorte que les fils de carret qui ſervent comme d'élemens aux cordes, ſoient tendus également. Cette condition me paroît auſſi néceſſaire dans le cordage fait en faiſceau ou en treſſe, que dans l'autre, & je perſiſte à croire que c'eſt principalement par le défaut de cette attention, qu'il s'en manque ſi conſidérablement que les gros cordages ne ſoient auſſi forts à proportion que les petits. Il y a cependant tout lieu de croire qu'il ne ſeroit pas abſolument impoſſible de trouver quelque remede à cet inconvénient.

CHAPITRE VII.

De la force que doivent avoir différentes manœuvres.

I.

AUSSI-TÔT qu'on réuſſira à rendre les cordages parfaits, ils ne pourront guere manquer d'avoir des forces proportionnelles au quarré de la circonférence ; & il arrivera enſuite qu'on aura bien réglé dans la Marine la groſſeur de la plûpart des manœuvres. Lorſqu'un vaiſſeau eſt deux fois plus long, deux fois plus large, &c. on donne deux fois plus de groſſeur à ſes manœuvres ; c'eſt la ſeule regle qu'on a ſuivie juſqu'à préſent pour proportionner tout, parce qu'elle s'eſt préſentée la premiere, comme la plus ſimple ; & il eſt facile de s'aſſurer qu'elle eſt bonne dans un très-grand nombre de cas.

Cette regle eſt bonne à l'égard des haubans, des calehaubans, des écoutes, des bras, &c. Les haubans ſou-

tiennent principalement les mâts contre l'effort du vent, & cet effort suit le rapport de la surface des voiles, qui est proportionnelle au quarré de leurs dimensions simples. Ainsi il suffit d'augmenter la circonférence des haubans dans le même rapport que ces dimensions simples, pour que la force du cordage soit proportionnelle à l'effort du vent, & puisse continuellement le contrebalancer. Supposé que le navire soit deux fois plus long & deux fois plus large, ses voiles auront quatre fois plus de surface : l'effort qu'il s'agira de soutenir sera donc quatre fois plus grand ; mais il est certain aussi que les haubans qui auront deux fois plus de grosseur, seront capables de quatre fois plus de résistance. Il ne faut pas avoir ici égard à la hauteur du centre d'effort des voiles, qui est cause que l'effort s'exerce, comme s'il étoit appliqué à un bras de levier plus long pour rompre les mâts ; car les haubans exercent leur force de la même maniere ; ils sont appliqués d'une maniere plus ou moins avantageuse, selon que le navire est plus ou moins grand.

On n'est dispensé d'avoir égard au bras de levier auquel l'effort est appliqué, que lorsqu'il s'agit de comparer les manœuvres d'un vaisseau à celles d'un autre, & que les deux dispositions de la mâture sont semblables. S'il étoit question de déterminer la quantité précise de la force absolue, il faudroit, comme il est évident, considérer non-seulement cette force en elle-même, mais aussi la maniere dont elle agit. Nous allons, pour en donner un exemple, tâcher de découvrir si les haubans ont effectivement assez de grosseur dans les vaisseaux du troisieme rang, que nous supposerons mâtés selon les regles vulgaires. Les trois voiles du grand mât, la grande voile, le grand hunier & le grand perroquet ont environ 7000 pieds quarrés de surface, & si chaque pied est exposé de la part du vent à un effort de 6 liv. l'impulsion totale sera de 42000 livres, & elle s'exercera sur une direction qui sera élevée d'environ 60 pieds au-dessus du pont. D'un autre côté les haubans qui sont *frappés* à la tête du grand mât & qui viennent

nent se rendre au bord du navire, peuvent être éloignés du pied du mât, en prenant la distance perpendiculairement & en s'arrêtant à la distance moyenne, d'environ 20 pieds. Ainsi ils sont appliqués à un bras de levier moins long; & il faut donc les rendre capables d'une plus grande force à proportion, conformément à cette analogie, 20 sont à 60, comme 42000 livres sont à 126000 livres, pour l'effort absolu qu'ont à soutenir les haubans. Mais chacun de ces cordages qui a 7 pouces de circonférence, peut au moins soutenir 12 $\frac{1}{4}$ tonneaux ou 24500 livres, & il y en a huit de chaque côté; ce qui les rend capables d'un effort de 196000 livres. On voit donc qu'ils seroient assez forts pour soutenir la mâture contre l'impulsion du vent, quand même il n'y auroit point d'autres manœuvres qui contribuassent au même effet, & que les mâts n'eussent d'ailleurs aucune force pour résister à un effort latéral.

II.

Quant aux cables, leur grosseur, au moins celle des maîtres cables, a été très-mal réglée jusqu'à présent dans la Marine. Le navire qui est censé en repos est exposé au choc d'une Mer agitée, pendant que le vent fait un effort continuel sur ses manœuvres & sur ses œuvres mortes. Toutes ces différentes impulsions sont encore comme l'étendue des surfaces choquées, ou comme les quarrés des dimensions simples des navires. Si la carene est deux fois plus longue, deux fois plus large & deux fois plus profonde, elle présentera quatre fois plus de surface à l'effort des vagues. Ainsi il faudroit que la force du cable, si elle étoit destinée à contrarier immédiatement cet effort, fût proportionnelle au quarré des dimensions simples du navire, qu'elle fût quatre fois plus grande dans le cas proposé; & on auroit donc eu raison de régler, comme on l'a fait, la grosseur du cable sur les dimensions simples du vaisseau. Mais l'action des vagues se transmet immédiatement au navire, avant que de s'exercer contre le cable, & c'est le seul mouvement que le navire a déja acquis, qu'il

s'agit d'éteindre. Ce mouvement eſt quatre fois plus grand lorſque la ſurface du navire eſt quatre fois plus grande ; mais comme le navire qui reçoit quatre fois plus de mouvement a huit fois plus de peſanteur ou de ſolidité, il doit prendre deux fois moins de viteſſe. Or le cable étant expoſé à une ſecouſſe moins preſte, a plus le tems d'y réſiſter ; il doit y réſiſter deux fois plus, puiſqu'il peut fournir deux fois plus de réſiſtance en deux fois plus de tems qu'il met à parvenir au degré d'extenſion voiſine de la rupture. Ainſi le cable qu'il ſeroit néceſſaire, ce ſemble, de rendre quatre fois plus fort, n'a ſimplement beſoin de l'être que deux fois ; & cela parce que l'effort qu'il a à ſoutenir s'amortit dans une plus grande maſſe & s'exerce deux fois plus lentement. Tout conſideré, la force du cable ne doit être que double ou triple, lorſque le navire eſt deux ou trois fois plus long & deux ou trois fois plus large. En général cette force ne doit augmenter que comme les dimenſions ſimples du vaiſſeau ; & il ſuit de-là que les groſſeurs des cables doivent être comme les racines quarrées de ces mêmes dimenſions, ou comme les racines quarrées des longueurs ou des largeurs de la carene.

Si les cables ſont aſſez forts dans le vaiſſeau du troiſieme rang, on en conclura qu'ils ne le ſont pas actuellement aſſez dans les navires inférieurs, & qu'au contraire ils le ſont trop dans les ſupérieurs. On n'a qu'à faire cette proportion arithmétique ; la moitié 7955323 du logarithme de 39 pieds, qui eſt la largeur du vaiſſeau du troiſieme rang, eſt au logarithme 1.2900346, de 19 $\frac{1}{2}$ pouces, groſſeur de ſon cable, comme la moitié 8406206 du logarithme de 48 pieds, largeur du vaiſſeau du premier rang, eſt au logarithme 1.3351229 de la groſſeur de ſon maître cable. Il ne viendra pas tout à fait 21 $\frac{2}{3}$ pouces pour cette groſſeur, au lieu de 24 pouces que donnent les regles vulgaires.

III.

Toutes les fois que les circonférences des manœuvres ne devoient pas être proportionnelles aux dimenſions

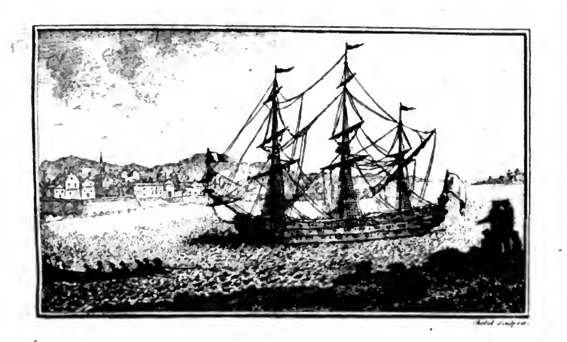
ſimples des navires, les Marins ne pouvoient pas manquer de s'y tromper ; & c'eſt ce qui eſt arrivé au ſujet des étays, & de tous les cordages deſtinés à ſoutenir quelques poids. On ſe ſouvient que les étays, comme KL (Fig. 37.), ſervent dans le tangage, ou dans les balancemens du vaiſſeau qui ſe font dans le ſens de ſa longueur, à obliger les mâts à prendre toute la rapidité du mouvement avec lequel la proue ſe précipite quelquefois dans l'eau. Il ſuit de-là que l'étay doit avoir une force, non pas proportionnelle au quarré des dimenſions ſimples des navires, mais à leur quarré quarré. Car la réſiſtance abſolue que font les mâts, les vergues, &c. à recevoir le mouvement qu'ils doivent prendre, dépend de leur ſolidité, ou de leur maſſe, & de la vîteſſe qu'ils reçoivent dans chaque point, laquelle eſt à-peu-près proportionnelle à leur hauteur. Ainſi cette réſiſtance abſolue eſt comme la ſolidité des mâts multipliée par leur hauteur, ou comme les quarrés quarrés des dimenſions ſimples du navire ; & puiſque la force des étays doit y être égale, les quarrés des groſſeurs de ces manœuvres doivent être comme les quarrés quarrés des dimenſions ſimples du vaiſſeau, où, ce qui revient au même, les circonférences des étays doivent être comme les quarrés de ces mêmes dimenſions. On voit par-là que nos manœuvriers ſe ſont extrémement trompés dans cette rencontre ; puiſque dans un navire deux fois plus long, ils ſe contentent de donner aux étays deux fois plus de circonférence, au lieu qu'ils en devroient donner quatre fois plus. Dans un vaiſſeau du troiſieme rang, le grand étay a 13 pouces de groſſeur, le maître bau étant long de 39 pieds : ſi on veut chercher à proportion la groſſeur que doit avoir cette manœuvre dans un vaiſſeau du premier rang, qui a 48 pieds de bau, il n'y a qu'à faire cette analogie ; le quarré 1521 du bau du premier navire, eſt à la groſſeur 13 pouces de ſon étay, comme le quarré 2304 du bau du ſecond eſt à un peu plus de 19 pouces pour la groſſeur de ſon étay ; au lieu que ſelon les regles ordinaires, on ne lui en donne que 16. On ne peut pas aſſurer qu'il

Fig. 37.

ſoit abſolument néceſſaire de rendre ces manœuvres ſi groſſes dans les vaiſſeaux du premier rang : mais alors ce ſeroit une marque qu'elles ont trop de groſſeur dans les vaiſſeaux du troiſieme.

Enfin, ſi on ſe détermine à ne pas rendre les dimenſions de la mâture proportionnelles à celles du vaiſſeau, il ne faudra plus que la force des étays, ou que le quarré de leur groſſeur ſoit proportionnel à la ſolidité de la mâture multipliée par la hauteur, mais à cette ſolidité multipliée par le quarré de la hauteur, & diviſée par la longueur de la perpendiculaire TV, abaiſſée du pied T du mât ſur l'étay KL. La difficulté que fait la mâture à prendre du mouvement, eſt toujours comme la ſolidité de cette mâture multipliée par ſa hauteur ; mais il faut encore multiplier ce produit par la hauteur, pour en avoir le moment, ou la force relative : car la même réſiſtance fait relativement plus ou moins d'effet, ſelon qu'elle eſt appliquée plus ou moins haut. Or ce moment doit être égal à celui de la force de l'étay, qui eſt le produit de cette force multipliée par la diſtance TV de ſa direction au pied du mât qui ſert d'hipomoclion. Ainſi la force abſolue de l'étay doit être égale, ou plutôt proportionnelle à la ſolidité de la mâture multipliée par le quarré de ſa hauteur, & le produit diviſé par la perpendiculaire TV. Dans les cas où la mâture eſt proportionnelle aux autres parties du vaiſſeau, il y a un rapport conſtant entre la perpendiculaire TV & la hauteur du mât. C'eſt pourquoi on peut négliger une fois la hauteur de la mâture d'un côté, & de l'autre la perpendiculaire TV, & dans ce cas particulier la force de l'étay, ou le quarré de ſa groſſeur, eſt ſimplement proportionnel à la ſolidité de la mâture multipliée par ſa hauteur, ou au quarré quarré de cette même hauteur.

Fin du premier Livre.

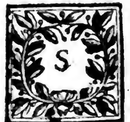


TRAITÉ DU NAVIRE, DE SA CONSTRUCTION, ET DE SES MOUVEMENS.

LIVRE SECOND.

Du vaiſſeau conſideré à flot, mais lorſqu'il ne ſingle pas.

Tranquillis primùm trepidus ſe credidit undis. *Claud.*



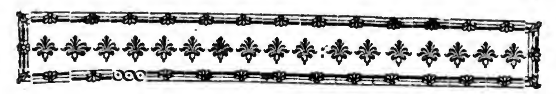
SOIT qu'on ſe propoſe de former un projet de vaiſſeau ſur les maximes que nous venons d'expliquer dans le premier Livre, ou qu'il s'agiſſe d'en examiner un déja formé, il eſt évident qu'on doit d'abord, pour ne rien abandonner au hazard, s'aſſurer ſi le navire ne ſera pas trop peſant, & n'enfoncera dans l'eau que juſqu'à

l'endroit convenable, lorſqu'il ſera chargé de ſa mâture, de ſes agreils, & muni de toutes les autres choſes néceſſaires. Nous ne pouvons pas nous diſpenſer de nous occuper de cette conſidération, & de commencer par elle ; puiſque le vaiſſeau couleroit à fond dans le port même, ſi l'on manquoit de l'obſerver. Il eſt vrai que n'augmentant la charge que peu à peu, & qu'autant qu'on le peut faire ſans riſque, on n'a guere dans l'uſage ordinaire ce fâcheux accident à craindre, quoiqu'il ſoit quelquefois arrivé : mais outre que c'eſt un grand défaut qu'un navire deſtiné à tranſporter un grand poids, ne porte pas tout ce qu'il eût été capable de recevoir, s'il eût été mieux conſtruit : l'inconvénient eſt infiniment conſidérable dans les vaiſſeaux de guerre, qui, malgré les frais immenſes qu'ils ont coûté, ſont condamnés à ne ſervir que de triſte ſpectacle dans le port, s'ils ne joignent pas à l'avantage de ſe bien comporter en mer, celui de pouvoir être armés d'une forte artillerie.

Mais ce n'eſt pas aſſez que la peſanteur de tout ce qui entre dans le navire ſoit proportionnée à ſa grandeur & à l'uſage auquel il eſt deſtiné, il faut encore que cette peſanteur ſoit diſtribuée d'une maniere particuliere, & que le point dans lequel on peut ſuppoſer qu'elle ſe réunit, ne ſoit pas trop élevé. Ainſi il nous faudra examiner auſſi cette diſtribution avec ſoin : il faudra rechercher les conditions du bon *arrimage* * ; non-ſeulement afin que le vaiſſeau ſe ſoutienne d'une façon ſtable, mais afin que les balancemens *du roulis* auſquels il eſt toujours ſujet en mer, n'apportent aucun préjudice à ſa navigation.

* C'eſt l'arrangement de la charge. Ce mot eſt tiré de l'Eſpagnol.





PREMIERE SECTION.

De la pesanteur du Vaisseau, & de la force qu'a l'eau pour le soutenir.

CHAPITRE PREMIER.

De la force qu'a l'eau pour soutenir le navire, en le poussant en haut selon une direction exactement verticale.

I.

LE principe d'Hydrostatique qui doit servir de regle dans toute cette matiere, & qu'on doit avoir continuellement présent à l'esprit, c'est qu'un corps qui flotte sur une liqueur est poussé en haut avec une force égale au poids de l'eau, ou de la liqueur dont il occupe la place. Si un navire pese 400000, ou 500000 livres, il enfonce jusqu'à ce qu'il occupe la place de 400000 ou de 500000 livres d'eau : supposé qu'on le rende plus pesant, il enfonce encore davantage ; mais il ne le fait toujours que jusqu'à ce que le volume de toute l'eau qui a été obligée de se retirer, pese précisément autant que lui. Dans tous ces cas il est poussé verticalement en haut par la liqueur : il est poussé avec autant de force qu'il tend à descendre ; & la parfaite égalité qu'il y a entre ces deux puissances qui agissent l'une contre l'autre en sens contraire, fait qu'elles se

trouvent continuellement en équilibre. Sans cette force qu'a l'eau, de même que toutes les autres liqueurs, pour pousser en haut, & que nous nommerons ici, comme nous l'avons déja fait ailleurs, *leur poussée verticale*, tous les corps qui flottent sur une liqueur, tomberoient à fond. C'est aussi cette force ou cette *poussée* qu'on éprouve sensiblement, lorsqu'on tâche de plonger dans l'eau quelque corps leger qui est d'un grand volume. Plus on enfonce le corps, plus on éprouve de résistance; parce qu'on souleve une plus grande quantité d'eau, dont on doit ressentir tout le poids.

Pour rendre ceci plus sensible, nous supposerons que ABCD (Fig. 49.) est la surface d'une liqueur, & qu'on réussisse par quelque moyen que ce soit, à en ôter un certain volume, en laissant vuide l'espace BCH. Il est clair qu'il ne suffit pas, pour empêcher la liqueur de revenir remplir ce vuide dans l'instant, de mettre un corps qui occupe exactement la même place. Il faut encore que ce corps ait de la pesanteur, pour pouvoir produire par son poids le même effet que le volume de liqueur ôtée; mais cela ne suffit point encore si le volume ôté pese deux ou trois cent livres, il est non-seulement nécessaire que le solide pese exactement autant; il faut outre cela que sa pesanteur s'exerce précisément sur la même direction. Il n'importe ensuite que le solide EBHC ait une partie BEC qui sorte de l'eau; pourvu que le poids du tout ne soit pas plus grand, & que son centre de gravité soit exactement dans la même verticale que le point G où étoit celui de la liqueur: car l'action sera toujours précisément la même. Mais puisque le solide BHCE se soutient sur la liqueur dans les conditions marquées, malgré la pesanteur qui travaille continuellement à le faire *couler à fond*, il faut que la liqueur agisse sans cesse de bas en haut avec une force contraire; que cette force ou cette poussée ait pour direction la verticale du centre de gravité G de l'espace BCH.

Fig. 49.

Cette

I I.

Cette maniere de conſidérer la choſe, fait au moins voir *à poſteriori*, que toutes les liqueurs ont une force réelle pour pouſſer en haut les corps qu'elles ſupportent ; mais on ne voit peut-être pas encore comment ſe forme cette action, ni comment un effort appliqué à la ſurface de la partie ſubmergée du corps flottant, & qui ſemble s'y terminer, ait pour centre de réunion, non pas le centre de gravité de cette ſurface, mais celui de l'eſpace même qu'elle environne, quelque irrégulier qu'il ſoit. Comment ſe peut-il faire, en effet, que l'action de la liqueur aille ſaiſir préciſément ce point au-dedans du corps, & s'y placer ? Nous ne pouvons pas éclaircir cette difficulté, ſans deſcendre dans un plus grand détail, ni ſans examiner l'effort de la liqueur ſur chaque partie extérieure du corps flottant.

Si l'on conçoit une partie F*f* compriſe entre deux plans horiſontaux KFIL & *kfil*, infiniment près l'un de l'autre, toute la portion de liqueur renfermée entre ces deux plans, auſſi-bien celle qui eſt proche du corps ſolide que celle qui en eſt éloignée, & qui eſt expoſée à l'action immédiate de la peſanteur de la liqueur ſupérieure, ſera également comprimée. Car toutes les liqueurs ont cette propriété qui les caractériſe, qu'il ſuffit de les preſſer dans un certain ſens, pour qu'elles travaillent à s'étendre dans tous les autres ; & cela juſqu'à ce qu'elles ſoient également comprimées par-tout. Ainſi ce ne ſont pas les ſeules parties comme M, qui ſont chargées du poids de toutes celles qui ſont au-deſſus, qui ſe trouvent très-preſſées ; ce ſont également les parties les plus retirées ; ce ſont celles qui ſont proches de F, quoiqu'elles ſemblent être comme à l'abri de la preſſion. Elles ont à ſoutenir l'effort latéral de la liqueur ſituée en M, laquelle preſſée de haut en bas, fait un égal effort pour s'étendre horiſontalement à droite & à gauche. Mais ces parties de liqueur qui ſont proche de F, & qui ſont ainſi comprimées, tendent à avan-

Fig. 49.

cer dans tous les ſens, & doivent, en s'appuyant contre la petite ſurface Ff du corps flottant, la pouſſer avec la même force que ſi cette ſurface étoit ſituée horiſontalement, & chargée du poids de toute la liqueur contenue dans la hauteur AM.

Ce doit être la même choſe de toutes les autres parties de la ſurface du corps ſolide : la preſſion à laquelle elles ſont ſujettes ne dépend que de leur étendue, & de la quantité dont elles ſont plus ou moins enfoncées dans la liqueur, ſans que leur ſituation verticale, ou inclinée, apporte aucune difference à la preſſion. Pour le dire en un mot, chaque partie Ff, ou Ii, eſt pouſſée avec une force égale à la peſanteur d'une colomne de liqueur qui auroit AM pour hauteur, & pour baſe la partie même Ff ou Ii placée horiſontalement. Mais ces preſſions abſolues, qui ont pour directions les perpendiculaires aux petites ſurfaces Ff & Ii, ſe décompoſent; car les petites ſurfaces Ff & Ii, ne peuvent pas être pouſſées ſelon les lignes FO & IQ, ſans l'être dans le ſens vertical & dans l'horiſontal. Suppoſé que FO & IQ repréſentent les impulſions abſolues, & qu'on forme les rectangles VFXO & IYQZ par des côtés horiſontaux & verticaux, on aura FV pour l'impulſion relative verticale à laquelle eſt expoſée la particule Ff de la ſurface du corps flottant, & FX pour l'impulſion relative horiſontale, pendant que IY & IZ repréſentent les forces relatives, verticale & horiſontale, avec leſquelles ſera pouſſée la petite partie Ii. Et ce qui eſt très-remarquable, c'eſt que les preſſions relatives horiſontales FX & IZ, que ſouffrent les deux parties correſpondantes ou oppoſées Ff & Ii, ſont toujours parfaitement égales. Elles ſont, en effet, plus petites que les preſſions abſolues dans le rapport qu'il faut pour cela; elles ſont plus petites, l'une dans le même rapport que FX eſt plus petite que FO, ou que fR eſt plus petite que fF, à cauſe de la reſſemblance des deux triangles rectangles FXO & fRF; & l'autre dans le rapport que iP, qui eſt égale à fR, eſt plus petite que Ii : ce qui doit rendre ces forces relatives égales;

Fig. 49.

aussi - tôt que les absolues sont l'une à l'autre, comme fF est à iI. Car chacune de ces forces relatives est égale à la pesanteur d'une colonne de liqueur qui auroit toujours AM pour hauteur, mais seulement iP ou fR pour base. Il suit de-là que le corps flottant ne doit avancer ni d'un côté ni de l'autre, puisque toutes les pressions relatives horisontales que souffre chaque côté, doivent suspendre exactement l'effet des pressions horisontales que souffre le côté opposé. Fig. 49.

A l'égard des pressions relatives verticales, ou des autres parties des forces absolues qui agissent de bas en haut, elles ne peuvent pas se détruire, puisqu'elles ne sont pas opposées : elles s'aident au contraire pour soutenir ensemble le corps. Il est facile de voir que ces forces relatives sont moindres que les forces totales, ou absolues dont elles dérivent, dans le rapport de FR à Ff, ou de IP à Ii. Ainsi une petite surface Ff qui est poussée par la liqueur dans le sens qui lui est perpendiculaire, avec une force égale à la pesanteur d'une colonne dont AM seroit la hauteur, & Ff la base, ne doit être poussée dans le sens exactement vertical qu'avec une partie de cette force, qui sera égale à la pesanteur de la colonne dont AM sera également la hauteur, mais qui n'aura que FR pour base; c'est-à-dire que la petite surface Ff est poussée verticalement en haut avec une force précisément égale à la pesanteur qu'auroit une colonne de liqueur dont SR marqueroit les dimensions. Ce sera la même chose de Ii & de toutes les autres parties de la surface ; & enfin pour avoir la poussée verticale qu'elles souffrent toutes, il n'y aura toujours qu'à supposer une colonne de liqueur au dessus, jusqu'à la superficie AD, & la poussée sera égale à la pesanteur qu'auroit cette colonne. Or il suit de-là 1°, que tout le solide est poussée en haut avec une force égale à la pesanteur de toutes ces colonnes ; ou ce qui revient au même, qu'il est poussé en haut avec une force égale au poids de tout le volume de liqueur BHC, dont il occupe la place. Il suit 2°. que cette force, ou cette poussée de la

Fig. 49. liqueur s'exerce sur la verticale qui passe par le centre de gravité G de la partie submergée BHC, supposée homogene. Car aussi-tôt que la poussée verticale que souffre chaque partie F*f* de la surface du corps solide, peut se comparer à la pesanteur de la colomne de liqueur correspondante, la direction composée de toutes les poussées particulieres, doit être la même que la direction composée de toutes les pesanteurs des colomnes ; sans qu'il importe que les actions de ces deux differentes puissances, se fassent en sens contraires.

III.

L'action des liqueurs étant ainsi établie, il seroit facile d'en expliquer tous les divers effets : mais pour nous renfermer dans notre sujet, nous remarquerons seulement qu'il suffit d'examiner les dimensions de la carene d'un navire, pour se mettre en état de résoudre deux problêmes importans ; l'un de déterminer la pesanteur totale que doit avoir le vaisseau, l'autre de sçavoir en quel endroit de sa longueur doit être situé son centre de gravité. Bornons-nous d'abord à la premiere question. Il est évident que si en prenant toutes les dimensions de la carene, on en cherche la solidité, on sçaura le volume de l'eau dont le navire occupe la place, & qui est de même pesanteur que lui. Or comme le poids d'un pied cubique d'eau de mer, quoiqu'un peu variable, est toujours assez connu, & qu'il est à très-peu près de 72 livres, il n'y aura qu'à multiplier par 72 les pieds cubiques de la solidité de la carene, & on aura la pesanteur du volume d'eau dont il s'agit, & par conséquent celle du vaisseau, qui est la même. Ordinairement on n'exprime pas cette pesanteur en livres, mais en tonneaux, qui est, comme nous en avons déja averti, le poids de 2000 livres, ce qui rend l'opération plus simple, parce que 28 pieds cubiques d'eau de mer, pesant à peu près 2000 livres, il n'y a qu'à diviser la solidité de la carene par 28, pour découvrir tout d'un coup les tonneaux

d'eau de mer qu'elle occupe, & en même-tems les tonneaux que doit peser le navire. Si, par exemple, la carene est de 10000 pieds cubiques, on trouvera en multipliant 10000 par 72 livres, & en divisant par 2000, que le navire doit peser 720000 livres, ou 360 tonneaux; & il vient aussi à peu près ce dernier nombre, lorsqu'on divise immédiatement 1000 par 28.

C'est non-seulement la pesanteur du vaisseau entierement armé, qu'on peut découvrir de cette sorte; c'est aussi sa pesanteur dans tous les autres états. Lorsqu'on le lance à l'eau, & que sans mâture son corps même n'est pas encore achevé, qu'il lui manque *tous ses hauts*, il n'enfonce que peu dans la mer : mais il n'y a qu'à mesurer la solidité de la partie plongée; & par la pesanteur qu'aura un égal volume d'eau de mer, on sçaura la pesanteur du corps du vaisseau. Qu'on achevé ensuite de le construire : qu'on le mâte, & qu'il ne lui manque plus que son lest, ou que sa charge, il enfoncera davantage, sans cependant parvenir encore à ce terme où nous l'avons supposé d'abord. Mais la solidité de la partie submergée de sa carene indiquera sa pesanteur dans tous les differens cas, & en sera toujours, pour ainsi dire, *l'exposant*. Il est clair aussi que la partie de la carene qui sera hors de l'eau, & qui est destinée à y entrer, sera en même-tems *l'exposant* du reste de la charge, ou du poids qu'on pourra encore ajouter à la pesanteur actuelle : supposé que cette partie soit de 5000 pieds cubiques, il faudra un poids de 360000 livres, ou de 180 tonneaux pour la faire enfoncer dans l'eau, & on pourra par conséquent charger encore le vaisseau de tout ce poids.



CHAPITRE II.

Trouver la force avec laquelle l'eau pousse le navire en haut.

NOUS n'avons maintenant besoin, pour faire usage des principes que nous venons d'expliquer, que d'une méthode simple & reglée de mesurer la solidité de la carene & de toutes ses parties, soit en prenant les dimensions même du vaisseau, lorsqu'il est déja construit, soit en prenant simplement ses mesures sur un plan qui le représente. Il seroit à souhaiter qu'on pût le regarder comme un corps géométrique d'une certaine figure déterminée : il suffiroit de prendre ses principales dimensions, & on concluroit ensuite tout d'un coup sa solidité.

I.

Premiere Méthode de mesurer la solidité de la carene, en la considérant comme un ellipsoïde.

C'est l'ellipse conique, ou ordinaire, qui de toutes les lignes courbes, entre le plus souvent dans la construction des vaisseaux ; & si l'on peut attribuer généralement à la carene une certaine figure, c'est celle de l'ellipsoïde ; c'est-à-dire celle du corps dont toutes les tranches horisontales sont elliptiques, de même que les verticales. Cet ellipsoïde deviendroit un sphéroïde, si la profondeur de la carene étoit la moitié de sa plus grande largeur, ou que les coupes faites perpendiculairement à la quille, au lieu d'être des ellipses, fussent exactement des cercles : car alors la carene seroit formée par la demi-révolution d'une ellipse autour de son grand axe. Dans ce cas particulier, aussi-bien que dans le général, la solidité de la carene se-

roit à la ſolidité du parallelipipede rectangle qui lui eſt circonſcrit, à très-peu près, comme 11 eſt à 21, puiſqu'on démontre en Géométrie, que ces ſolides ſont l'un à l'autre, comme la circonference d'un cercle eſt à ſix fois ſon diametre, & que ce dernier rapport eſt exprimé à très-peu près par 11 & 21. Après qu'on auroit donc meſuré les trois principales dimenſions de la carene, ou de la partie ſubmergée du navire, ſa longueur, ſa plus grande largeur & ſa profondeur, & après en avoir cherché le produit, il ne reſteroit plus qu'à en prendre les $\frac{11}{21}$; ce qui rendroit toute l'opération extrêmement ſimple, ſi elle pouvoit avoir lieu dans tous les cas.

Suppoſé que la plus grande longueur de la carene fut de 140 pieds, ſa plus grande largeur dans l'endroit où elle ſort de l'eau de 40 pieds, & ſa profondeur de 18; le ſolide circonſcrit formé de ces trois dimenſions, ſeroit de 100800 pieds cubiques, & ſi on en prenoit les $\frac{11}{21}$, ou qu'après avoir multiplié ces 100800 pieds cubiques par 11, on diviſât le produit par 21, il viendroit 52800 pieds cubiques pour la ſolidité de la carene. Cette ſolidité diviſée enſuite par 28, parce que 28 pieds cubiques d'eau marine peſent un tonneau, donneroit 1889 tonneaux, pour la force totale avec laquelle la mer pouſſe la carene en haut; & par conſéquent pour la peſanteur totale qu'il faudroit qu'eût le navire, y compris ſon propre poids, ſa mâture, ſes agrêts, ſes munitions, ſa charge, &c.

Mais nous ne devons pas diſſimuler qu'on ne peut pas ainſi comparer généralement la carene des vaiſſeaux à des ellipſoïdes, ou à des ſpheroïdes, de quelque maniere qu'ils ſoient formés. La ſurface d'une ellipſe eſt à peu près les $\frac{11}{14}$ du rectangle qui lui eſt circonſcrit, mais dans les navires ordinaires, les coupes horiſontales de la carene faites vers le haut, en ſont pour le moins les $\frac{6}{7}$ ou les $\frac{12}{14}$. Il eſt vrai qu'il ſe fait preſque toujours enſuite une eſpece de compenſation, parce que les coupes faites plus bas ſont beaucoup plus petites à proportion : d'où il peut arriver que la carene entiere au lieu d'être les $\frac{11}{21}$ du parallelipipede cir-

conſcrit, n'en ſoit que la moitié, & même une moindre partie. C'eſt ce qui arrivera principalement, lorſqu'on rendra les liſſes preſque droites, comme l'exige la promptitude du ſillage, ainſi que nous l'avons déja dit dans le livre précédent, & que nous le démontrerons dans le ſuivant; la carene ſera alors à peine les $\frac{11}{28}$ du ſolide circonſcrit. Mais vu l'état où eſt actuellement l'Architecture navale, on ne peut établir aucune regle générale ſur toutes ces choſes. Il eſt très-ordinaire que deux vaiſſeaux ayent exactement la même longueur, la même largeur, & la même profondeur, & que cependant ils ayent des ſolidités differentes d'une cinquieme, ou d'une ſixieme partie. Ainſi il faut abſolument dans cette rencontre renoncer aux méthodes purement géométriques, qui ne ſont applicables qu'aux corps d'une forme toujours déterminée, & non pas à la carene des navires, qui eſt le plus ſouvent comme formée au hazard. C'eſt pourquoi on ne peut réuſſir à en déterminer la ſolidité qu'en la diviſant en pluſieurs parties, ou qu'en la diſcutant par la meſure d'un très-grand nombre de dimenſions.

II.

Seconde méthode de meſurer la carene, en la diviſant en pluſieurs priſmes.

Tout l'art qu'on peut employer dans cette nouvelle opération, conſiſte à ſe ſervir de meſures qu'on puiſſe prendre avec facilité, & à faire auſſi enſorte que les diverſes parties dans leſquelles on partagera la carene, ou tout autre corps dont il s'agira de connoître la ſolidité, ſoient des figures de même eſpece, & qui ayent en même-tems le plus de dimenſions égales qu'il ſera poſſible. Il n'y aura, par exemple, qu'à partager la carene par des plans horiſontaux qui ſoient à une égale diſtance les uns des autres, & imaginer enſuite des plans verticaux perpendiculaires à la longueur du navire, qui ſoient tous auſſi également éloignés les uns des autres; & de cette ſorte le carene ſera diviſée

viſée en pluſieurs priſmes quadrangulaires & de même groſſeur, couchés dans le ſens de la largeur, dont les deux extrémités ſeront terminées preſque toujours obliquement par les deux flancs. Puiſque tous ces priſmes ſeront préciſément de même groſſeur, à cauſe de l'égalité d'intervalle qu'on met entre tous les plans, tant horiſontaux que verticaux, il eſt clair qu'on pourra les conſiderer comme s'ils n'en formoient qu'un ſeul, & qu'il n'y aura qu'à multiplier le rectangle qui leur ſert de groſſeur par la ſomme de toutes leurs longueurs, pour avoir tout d'un coup leur ſolidité totale. Si les plans horiſontaux ſont élevés les uns au-deſſus des autres de trois pieds, & les plans verticaux perpendiculaires à la quille, éloignés les uns des autres de dix, les rectangles qui repréſenteront la groſſeur de tous les priſmes ſeront de 30 pieds quarrés. Ainſi la ſolidité de la carene ſera le produit de ces 30 pieds par la ſomme de toutes les diverſes largeurs du vaiſſeau qui ſervent de longueur aux priſmes. Plus la courbure des deux flancs du vaiſſeau ſera grande, plus il ſera néceſſaire de pouſſer loin la diviſion, en augmentant le nombre des plans, tant horiſontaux que verticaux. La ſeule regle qu'il y aura à obſerver en cela, ce ſera de rendre les parties de la ſurface de la carene aſſez petites pour qu'elles ſoient ſenſiblement planes. Cependant je crois qu'il ſuffira preſque toujours de partager la carene en trois ou quatre tranches horiſontales de même épaiſſeur, & de la ſubdiviſer enſuite par 8 ou 10 plans verticaux; de ſorte qu'on ne ſera gueres obligé, pour avoir la longueur de tous les priſmes & pour avoir enſuite leur ſolidité, que de meſurer la largeur du navire en trente ou en quarante endroits. Lorſqu'il s'agira des plus grands vaiſſeaux, on pourra diviſer leur carene en cinq ou ſix tranches horiſontales.

On a déja vu la maniere de meſurer les largeurs ſur un plan, mais il n'y aura gueres plus de difficulté à les prendre ſur le vaiſſeau même, lorſqu'il ſera conſtruit & qu'il ſera à ſec dans un baſſin. Il n'y aura qu'à mettre ſur le navire une piece de bois en travers, ou perpendiculairement

à sa longueur, dont les deux extrémités sortent de chaque côté; on y suspendra deux fils à plomb, dont on mesurera d'abord la distance, & on verra ensuite combien il s'en faut en chaque endroit que le navire ne soit aussi large que les deux fils à plomb sont éloignés l'un de l'autre. On trouvera de cette sorte la largeur du vaisseau en haut dans l'endroit où il est le plus gros. On prendra en même-tems les autres largeurs dans les autres points plus bas, en laissant les fils à plomb dans la même situation; & on transportera ensuite ces mêmes fils vers l'avant & vers l'arriere, toujours à des distances égales, pour réiterer la même opération, & avoir les largeurs du navire dans tous les autres plans verticaux. Ces largeurs seront, je le repete, les longueurs des prismes dans lesquels on a divisé la carene. On fera attention d'un autre côté que pour obtenir la solidité de chacun de ces prismes, il faut multiplier l'étendue de la coupe faite perpendiculairement à sa longueur, par sa longueur moyenne même, qui est égale au quart de la somme de ses quatre côtés. Ainsi pour avoir la solidité de tous les prismes ensemble, il faudroit multiplier l'étendue du rectangle qui représente leur grosseur par le quart de la somme de toutes les largeurs mesurées de la carene; si ce n'est que la plus grande partie de ces largeurs servent de côtés à 4 prismes; d'où il suit que le quart doit être repeté quatre fois, ou ce qui revient au même, que ces largeurs doivent être employées toutes entieres. Telles sont toutes celles qu'on peut nommer intérieures, parce qu'elles sont prises au-dedans du solide: d'autres qui sont extérieures, parce qu'elles se trouvent dans les plans extrêmes ou qui terminent le corps, servent de côtés à deux prismes; ainsi leur quart doit être simplement repeté deux fois. Enfin il y a quatre largeurs qui sont à l'extrémité des plans extrêmes, lesquelles ne servent de côtés chacune qu'à un seul prisme, & par conséquent leur quart ne doit être employé qu'une seule fois dans la somme qu'il faut multiplier par la grosseur des prismes.

On verra tout ceci plus clairement si on jette les yeux

ſur la Figure 50, qui repréſente un vaiſſeau projetté ſur le plan vertical qui le coupe par la moitié dans le ſens de ſa longueur, ou de la quille. Sa carene, ou la partie qui doit enfoncer dans la mer, eſt partagée en quatre tranches horiſontales, & elle eſt enſuite diviſée par ſept plans verticaux, FB, GG, GG, &c. perpendiculaires à ſa longueur. Je n'ai que faire d'avertir que les petits rectangles marqués dans la figure, & qui ſont tous égaux, ſont les groſſeurs des priſmes qui réſultent de la diviſion de la carene, & qui ont pour longueurs, ou pour côtés, les largeurs du navire meſurées vis-à-vis de tous les points H, G, &c. Or pour trouver la ſolidité de tous ces priſmes à la fois, ou du corps entier EFBC qu'ils forment enſemble, il n'y a qu'à multiplier, conformément à ce que nous venons de dire, l'étendue d'un ſeul rectangle HHHH par la ſomme qu'on fera des largeurs entieres qui ſeront meſurées vis-à-vis de tous les points H, de la moitié de chacune des largeurs meſurées vis à-vis des points G, & du quart des quatre qui ſeront priſes vis-à-vis des points E, F, B & C. L'opération s'expediera de cette ſorte avec une extrême promptitude par une ſeule multiplication pour la ſolidité de tous les priſmes, ou de tout le corps EFBC. On voit aſſez maintenant la cauſe de la diſtinction que nous mettons entre les largeurs qui ſervent ou à quatre priſmes, ou à deux, ou ſimplement à un ſeul. Il reſtera à ajouter au corps EFBC, la ſolidité qu'on cherchera à part des priſmes irréguliers qui ſe trouvent aux deux extrémités de la carene en ABF & en DCE, à la poupe & à la proue. Comme il n'eſt pas poſſible de les joindre avec les autres pour en trouver la ſolidité tout d'un coup, on les réduira à d'autres priſmes rectangulaires, ou triangulaires, qu'il ſera toujours facile de meſurer à part.

III.

Troisieme méthode mesurer la carene, en la partageant simplement par tranches.

On pourroit faire un usage continuel de la méthode précédente, sans qu'il est utile dans diverses occasions de ne pas connoître seulement la solidité entiere de la carene, mais aussi celle des parties que la carene plonge successivement dans l'eau, à mesure qu'on charge le navire. Cette considération oblige de chercher séparément la solidité des tranches horisontales, ce qui rendra l'opération numerique un peu plus longue, sans que néanmoins il soit nécessaire de mesurer un plus grand nombre de dimensions.

Fig. 51. Si ANHOA (Fig. 51.) représente la coupe horisontale de la carene faite à fleur d'eau, lorsque le navire est entierement chargé, & que toutes les largeurs ST, QR, &c. ayent été mesurées, comme il est aisé de le faire, à des distances parfaitement égales les unes aux autres; il n'y aura, pour avoir l'étendue de tous les trapezes dans lesquels cette surface est divisée, qu'à multiplier la distance AB, ou BC d'une largeur à l'autre, par la somme qu'on fera de toutes les largeurs intermédiaires QR, OP, MN, &c. & de la moitié de la premiere & de la derniere.

Supposé que toute la longueur AH de la surface soit de 120 pieds, & qu'on ait divisé cette longueur en 6 parties égales par les largeurs qu'on aura mesurées, & qu'on aura trouvées de 18 pieds en ST; de 23 en QR; de 28 en OP; de 30 en MN; de 30 en KL; de 21 en HI, & de zero en G. Faisant une somme des largeurs intermédiaires, & de la moitié des deux extrêmes, on aura 141 qu'il n'y aura qu'à multiplier par la distance AB, ou BC, d'une largeur à l'autre, qui est de 20 pieds, & il viendra 2820 pieds quarrés pour l'étendue requise de tous les trapezes, ou de la surface entiere AMGN, qui sera exactement la

même, si l'on a été attentif à prendre un assez grand nombre de largeurs pour que toutes les parties GH, HK, KM de son contour soient sensiblement des lignes droites. Rien n'est plus simple que cette pratique, & il est d'ailleurs facile de la justifier. Pour trouver l'étendue particuliere de chaque trapeze, il faut multiplier la moitié des deux largeurs qui lui servent de côtés paralleles, par sa hauteur. Mais puisque tous les trapezes ont une égale hauteur, & que d'ailleurs chaque largeur sert de côté commun à deux trapezes, il est clair que pour trouver tout d'un coup la somme de leur étendue, il faut multiplier AB, ou BC, non pas par la somme des moitiés des largeurs, mais par la somme des largeurs mêmes, excepté de la premiere & de la derniere, dont il ne faut employer que la seule moitié, parce qu'elles ne servent chacune de côté qu'à un seul trapeze.

Il est clair que ce moyen de trouver l'étendue des coupes horisontales de la carene peut s'appliquer également à toutes les surfaces planes, en mesurant plusieurs de leurs largeurs, ou ordonnées, à une égale distance les unes des autres. Nous pouvons même, en élevant un peu nos vues, quoique nous ne paroissions ici occupés que de navires; ajouter que ce moyen pourra servir dans plusieurs rencontres, pour approcher sur le champ, & avec une extrême facilité, de la valeur de toutes les intégrales qui ne contiennent qu'une seule variable. On n'a qu'à considérer l'intégrale générale $Sdz \times Z$, dans laquelle Z est une fonction quelconque de z, comme représentant l'aire d'une surface plane, dont z exprime les parties de l'axe, ou de la longueur, pendant que la grandeur Z, quoique complexe & de plusieurs dimensions, exprime les largeurs, ou les ordonnées. Après cela il n'y aura qu'à attribuer à z un assez grand nombre de diverses valeurs qui se surpassent également; chercher pour chacune la grandeur de Z, & multiplier la somme de toutes ces grandeurs, excepté de la premiere & de la derniere, dont on ne fera entrer dans la somme que la seule moitié, par la quan-

tité dont on a rendu plus grandes les unes que les autres, les diverses valeurs qu'on a attribuées à z. Cette méthode, que nous donnons pour ce qu'elle vaut, & que nous n'avons garde de comparer à d'autres méthodes plus sçavantes, qui sont entre les mains des Géometres *, n'est pas bornée à la seule intégrale $Sdz \times Z$; on peut l'appliquer avec le même succès à toutes les autres, comme $SdzSdzZ$, qui ne contiennent toujours qu'une seule variable, ou qui en contiennent plusieurs dont on connoît la relation.

* Voyez les petits Traités *de methodo differentiali* de Mrs Newton & Roger Cotes, &c.

Mais pour revenir à notre sujet, aussi-tôt qu'on a trouvé de la même maniere, non-seulement l'étendue de la plus haute coupe horisontale de la carene, mais celle de toutes les autres qui passent par les lignes LO, KN, &c. (Fig. 50.) il suffira, pour avoir la solidité de chaque tranche horisontale comprise entre deux coupes, de prendre la moitié de la somme de ces mêmes coupes, & de la multiplier par la distance verticale de l'une à l'autre, qui forme l'épaisseur de la tranche. On fera la même chose pour toutes les autres, & on les ajoutera ensuite successivement, en commençant par en bas, pour avoir la solidité des diverses parties de la carene qui s'enfonçent dans l'eau à mesure qu'on augmente le poids de la charge. Nous démontrerons dans la suite que cette méthode de trouver la solidité de chaque tranche, en multipliant son épaisseur par la moitié des deux coupes horisontales entre lesquelles elle est comprise, est aussi exacte qu'il est nécessaire dans la pratique : nous croyons même qu'elle sera applicable à la partie la plus basse de la carene ; parce que si l'erreur qu'on commet dans cette derniere mesure est considérable, par rapport au peu de grandeur de cette partie, elle devient toujours comme insensible lorsqu'elle est répandue sur toute la carene. Si l'on croyoit devoir au reste pousser la précision plus loin, on le pourroit faire par le moyen suivant.

Fig. 50.

Ce seroit de diviser cette partie inférieure en plusieurs troncs par des plans verticaux perpendiculaires à la quille, & également éloignés les uns des autres. Ces plans verti-

caux qui fépareroient les troncs, auroient vers le milieu du vaiffeau la forme MNOP (Fig. 52.) à caufe du plat OP des varangues, & elles auroient vers la proue & vers la poupe une forme qui approcheroit de la triangulaire. On trouveroit aifément la fuperficie des unes & des autres, & il n'y auroit en tout cas qu'à les partager par des lignes verticales également éloigées les unes des autres, en plufieurs trapezes, dont on trouveroit l'étendue tout-à-la fois, comme nous l'avons expliqué. Enfin la furface de tous les plans, ou de toutes les coupes verticales MNOP, étant découverte, il ne feroit pas néceffaire de s'arrêter à chercher la folidité particuliere de chaque tronc intercepté, puifqu'on n'en a pas befoin. On trouveroit leur folidité à tous, ou ce qui revient au même, la folidité de toute la tranche inférieure de la carene dont il s'agit, en faifant une fomme de l'étendue de tous les plans verticaux intermédiaires MNOP, & de la moitié des deux extrêmes qui fe réduifent prefque à rien, & en multipliant cette fomme par la feule diftance d'un plan à l'autre.

Fig. 52.

IV.

De l'échelle des folidités, ou des pefanteurs des diverfes parties de la carene.

Si l'on n'a divifé la carene qu'en quatre tranches horifontales, comme il fuffira ordinairement de le faire, fi ce n'eft que pour les plus grands vaiffeaux on pouffera la divifion plus loin, on n'aura, en ajoutant fucceffivement ces tranches les unes aux autres, que la folidité des quatres parties ICBM, KCBN, LCBO & DCBA, (Fig. 50.) qui fe plongent fucceffivement dans la mer, à mefure qu'on augmente le poids du navire. Mais il ne fera pas difficile, en fuppofant que les coupes horifontales qui font entre deux autres qu'on a mefurées actuellement, font en progreffion arithmétique, de trouver la folidité de toutes les portions de la carene qu'on voudra : & on pourra

Fig. 50.

Fig. 50. ensuite les marquer, si on le veut, dans le plan qui représente le vaisseau coupé verticalement selon sa longueur, sur une échelle qu'on tracera vers son milieu en PT. Je veux dire qu'on marquera en Q, en R, en S, &c. la solidité des parties correspondantes de la carene qui sont au-dessous, ou des parties ICBM, KCBN, &c. Au lieu de marquer ces solidités en pieds cubiques, on pourra le faire, pour une plus grande commodité, en tonneaux, en attribuant 28 pieds à chaque tonneau; & alors on sçaura, par la seule inspection du plan, de combien doit être la pesanteur du vaisseau pour qu'il plonge jusqu'à chaque point Q, ou R. On confond souvent ici les parties submergées de la carene & les pesanteurs qu'a le vaisseau dans ses differens états, parce qu'on suppose que le Lecteur se souvient toujours que les parties submergées sont les *exposans* des diverses pesanteurs du navire, égales au poids du volume d'eau que chasse la partie submergée.

Il faut remarquer qu'on ne peut pas placer cette échelle PT des pesanteurs, indistinctement par-tout; parce que le poids du vaisseau & de la charge étant le même, mais la distribution differente, la carene peut caler plus ou moins vers la proue ou vers la poupe; au lieu que l'enfoncement est toujours sensiblement le même vers le milieu. En effet, la partie submergée doit être de même grandeur, tant que le poids total ne change pas: si une des extrémités de la carene s'enfonce davantage dans la mer, il faut nécessairement que l'autre extrémité s'éleve en même tems; mais il est un point vers le milieu qui ne souffre aucun changement. Ce point est à très-peu près le centre de gravité de chaque coupe horisontale; comme il seroit facile de le démontrer. Ainsi l'échelle des pesanteurs, au lieu d'être une ligne droite, doit être une ligne courbe, qui vu l'état présent de la construction, doit avancer un peu vers la poupe, à mesure qu'on la prolonge en haut. Cependant comme il ne s'en faut gueres que les centres de gravité de toutes les coupes horisontales, ne soient les uns au-dessus des autres, sans doute qu'il ne résultera jamais aucune erreur de

la

la ſituation de l'échelle, quoique droite, & quoique placée verticalement; pourvu qu'on la faſſe paſſer à peu de diſtance du centre de gravité de toute la carene.

CHAPITRE III.

Du changement que reçoit l'enfoncement de la carene; lorſqu'on ajoute au navire quelque partie, ou qu'on la retranche, &c.

I.

ON verra par la ſuite les divers uſages qu'auront toutes les meſures qu'on vient de preſcrire : mais on inſiſtera dès-ici ſur les premiers qui ſe préſentent, & qui regardent les navires déja conſtruits. On aura peut-être de la peine à croire qu'on fait tous les jours des changemens très-conſidérables ſur des vaiſſeaux, comme de retrancher un pont, ou de l'ajouter, de *ſouffler* toute la carene, c'eſt-à-dire de la renfler par de nouveaux bordages; ſans ſe mettre en peine de connoître d'avance l'effet précis qui doit en réſulter. On s'en rapporte ſur cela à la pratique du Conſtructeur, qui n'en juge qu'à peu près par des changemens ſemblables qu'il a vu faire ſur d'autres navires : pendant qu'il eſt des moyens ſûrs de prononcer dans toutes ces matieres, & d'agir avec pleine connoiſſance de cauſe.

Il eſt facile, comme nous le diſons, de prononcer ſur toutes ces choſes, en les diſcutant avec un peu de ſoin. S'il s'agit, par exemple, de raſer un vaiſſeau du premier rang, de 48 pieds de largeur, trop chargé du propre poids de ſes parties ſupérieures, on peut ſupputer la peſanteur du pont & des dunettes qu'on veut retrancher. Le calcul ne ſera ni long ni difficile; nous entreprendrons dans le mê-

me genre une opération beaucoup plus pénible, lorſque nous chercherons la peſanteur de toutes parties qui forment le vaiſſeau. On ſçait la longueur des baux & leur groſſeur, celle des courbes, l'épaiſſeur & la longueur des bordages, & la quantité de fer qui entre dans le pont: il n'en faut pas davantage pour trouver la peſanteur du tout. Cette peſanteur, ſi on ſe bornoit à ne retrancher que le pont, ſeroit d'environ 420000 livres, ou 210 tonneaux; mais ce retranchement en entraîne beaucoup d'autres. Il cauſe d'abord une diminution conſidérable dans le nombre des canons; & outre cela on ne peut gueres ſe diſpenſer de faire divers retranchemens aux dunettes. Du côté de l'artillerie le retranchement ſera de 70 ou 80 tonneaux; mais je ſuppoſe que la diminution totale eſt de 350 tonneaux: c'eſt ce dont on pourra toujours s'aſſurer. Ainſi il ne reſte plus qu'à trouver combien le retranchement de ce poids, doit faire élever le vaiſſeau, ou le faire ſortir de la mer.

On le ſçaura d'avance, ſi on a ſuputé, comme nous l'avons expliqué dans le chapitre précédent, la ſolidité de toutes les parties de la carene; & ſur-tout ſi on a entre les mains un plan exact, ſur lequel *l'échelle des peſanteurs* ſoit tracée. Il n'y aura qu'à voir combien de pouces, ou de pieds d'enfoncement répondent à 350 tonneaux, ou à 9800 pieds cubiques, produit de 350 par 28. Si on n'a point de pareil plan, il n'y aura qu'à meſurer l'étendue de la coupe horiſontale de la carene faite à fleur d'eau, & chercher combien la tranche, ou le corps plat qui a cette étendue pour baſe, doit avoir d'épaiſſeur, pour être de 9800 pieds cubiques. Suppoſé que l'étendue de la coupe horiſontale ſoit de 6900 pieds quarrés, on diviſera les 9800 pieds cubiques que doit avoir le ſolide qui ſort de l'eau par les 6900 pieds quarrés qui ſervent de baſe; & il viendra au quotient un peu moins de 1 pied 5 pouces pour la hauteur du corps plat; ce qui apprendra la quantité dont le vaiſſeau doit s'élever de l'eau par le retranchement propoſé. Il faut remarquer qu'une élevation de 1 pied 5 pouces eſt une

quantité très-considérable, & qu'il n'en faut souvent pas tant, faisant même abstraction du changement avantageux que souffre en même-tems le centre de gravité qui descend beaucoup, pour qu'un vaisseau mal construit, qui devoit servir de triste & de perpetuel ornement dans un port, devienne très-propre à la navigation.

Lorsqu'on prend pour la solidité de cette tranche de la carene qui s'éleve de l'eau, le produit de l'étendue 6900 pieds quarrés de la base, ou de la coupe faite à fleur d'eau, par son épaisseur 1 pied 5 pouces, on ne peut pas commettre d'erreur sensible. S'il est vrai que les autres coupes horisontales au-dessous sont un peu plus petites, la difference n'est jamais assez considérable pour qu'on soit tenu dans la pratique d'y avoir égard ; il est toujours permis de considérer le solide dont il s'agit, comme s'il étoit cylindrique. On pourra, comme il est évident, prévoir de la même maniere l'effet que doit produire, non pas le retranchement, mais l'addition d'un nouveau pont, d'une dunette, &c.

II.

Il y aura un peu plus de peine à déterminer ce qui doit arriver lorsqu'on *souffle* le vaisseau ; & cela principalement, parce qu'il n'est pas tout-à-fait si aisé de trouver l'étendue de la superficie convexe de la carene. Si dans l'opération *du soufflage* on s'attachoit à donner toujours à la carene une figure semblable, ou si on augmentoit toutes les dimensions proportionnellement ; alors presque toute la difficulté cesseroit. Les solidités de la carene dans les deux états, étant comme les cubes de quelqu'un des côtés, la difference seroit comme la difference des cubes ; ainsi elle seroit toujours connue aisément, & on sçauroit par conséquent combien la poussée verticale de l'eau auroit plus de force pour soutenir le navire. Pour trouver cet excès presque tout d'un coup dans cette supposition, il n'y a qu'à se ressouvenir que si on augmente le côté x d'un cube x^3 d'une très-petite quantité dx, le cube se trouvera augmen-

té de $3x^2dx$, ou de trois fois le solide formé par le quarré du côté & par la petite augmentation; parce qu'on peut négliger les autres parties de l'accroissement. Mais x^3 étant à $3x^2dx$ comme x est à $3dx$, il s'ensuit qu'on peut, dans le cas présent, faire cette analogie; la largeur qu'avoit d'abord la carene, est à la premiere solidité, ou à la poussée verticale de l'eau, comme le triple de la petite quantité dont on a augmenté la largeur, est à l'augmentation de la solidité, ou de la force de la poussée verticale de l'eau. Si dans le vaisseau du premier rang dont nous avons parlé, on augmente de 6 pouces la largeur, qui est de 48 pieds, & qu'on augmente la longueur & les autres dimensions à proportion, on aura cette analogie; 48 pieds, sont à la force (3300 tonneaux) qu'avoit d'abord la poussée de l'eau, comme $1\frac{1}{2}$ pied, qui est le triple de 6 pouces, est à un peu plus de 103 tonneaux, pour l'augmentation que reçoit cette force. Le navire seroit par conséquent soulevé de cette quantité, sans qu'il faut rabatre de ces 103 tonneaux la pesanteur même du bois qu'il faut employer pour le *souffler*. Comme cette pesanteur sera au moins de 60 tonneaux, on gagnera tout au plus 43 tonneaux; & puisqu'une diminution de 350 tonneaux n'a fait soulever le navire que de 1 pied 5 pouces, celle-ci ne le fera gueres sortir de l'eau que de 2 pouces.

III.

Mais outre qu'il est difficile que les Constructeurs s'assujettissent à conserver la même figure à la carene, il est quelquefois à propos de l'alterer. C'est ce qui nous fait croire qu'il faut absolument se résoudre à mesurer l'étendue de sa surface convexe, qu'on multipliera par l'épaisseur *du soufflage*, pour en avoir la solidité. On mesurera la surface convexe de la carene en la partageant en plusieurs zones, dont on trouvera l'étendue séparément. Pour mesurer chaque zone, on la considérera comme un trapeze

courbe, ſelon le contour qu'ont les varangues; on prendra avec une ficelle la longueur qu'ont les deux côtés du trapeze qui ſeront preſque paralleles, & qui ne ſeront autre choſe que le contour du vaiſſeau pris dans le ſens de ſa largeur : la moitié de la ſomme ſera ſa longueur moyenne, & il n'y aura qu'à la multiplier par la largeur moyenne de la zone. Peut-être ſera-t-il permis auſſi, dans cette recherche, de regarder la carene comme un corps géométrique, afin d'expédier l'opération plus aiſément. On a vu qu'on ne peut pas traiter la carene comme un corps géométrique, lorſqu'il s'agit d'en trouver la ſolidité; mais ici le cas eſt different. Pour peu qu'on attribue plus ou moins de courbure à la ſurface, ou à une partie de la ſurface qui environne un corps, on augmente ou l'on diminue beaucoup la ſolidité; au lieu que l'étendue de la ſurface ne change gueres, ou ne change peut-être pas.

La ſurface convexe à laquelle on peut comparer plus naturellement celle de la carene, eſt celle d'un ſphéroïde formé par la révolution, ou plutôt par la demi-révolution, d'une ellipſe autour de ſon grand axe. La Géométrie nouvelle nous a appris que ſi l'on forme un quart de cercle qui ait la moitié du grand axe pour rayon, & qu'on prenne dans ce quart de cercle un ſegment compris entre un des rayons & un ſinus parallele, égal à la moitié du petit axe du ſphéroïde, il y aura même rapport entre le ſinus de complement qui ſert de largeur au ſegment, & la circonférence du cercle qui a pour rayon la moitié du petit axe, qu'entre l'étendue du ſegment du quart de cercle, & la ſurface du demi-ſphéroïde. Cette ſeule analogie exige une aſſez longue opération; parce qu'il faut, entr'autres choſes, connoître l'étendue du ſegment du quart de cercle; & il ſeroit à propos d'épargner cette peine aux Conſtructeurs, ou aux perſonnes attachées à l'Architecture navale. On ne peut, ce ſemble, rien faire de mieux que d'entreprendre le calcul d'avance pour un certain vaiſſeau; parce qu'il n'y aura plus enſuite qu'une ſimple proportion à

faire pour tous les autres. Si on exprime par 325 le grand axe, ou la longueur de la carene, & par 100 le petit axe, ou sa largeur, conformément au rapport qui s'observe le plus ordinairement, on trouvera 41641 pour la surface du demi-sphéroïde, ou de la carene. Il est vrai que le rapport de 325 à 100 n'aura pas lieu dans tous les vaisseaux; mais on sauvera la plus grande partie de l'erreur qui peut naître de la difference, en comparant la surface 41641, non pas avec le quarré de la longueur ou de la largeur; car on se tromperoit extrêmement toutes les fois que le sphéroïde n'auroit pas une figure semblable; mais avec le rectangle 32500 des deux dimensions l'une par l'autre. Ce leger détour sera cause que lorsque les navires auront plus ou moins de largeur par rapport à leur longueur, le rectangle de ces deux dimensions sera plus ou moins grand; & on trouvera aussi pour la superficie de la carene des étendues differentes.

La surface 41641 du demi-sphéroïde est au rectangle 32500 de ses deux axes comme 128 est à 100. Ainsi pour appliquer cette méthode à un navire proposé, il n'y aura qu'à faire cette seule analogie; 100 est à 128, comme le rectangle de la longueur par la largeur, est à l'étendue requise de la superficie convexe de la carene. Il y aura encore cette précaution à observer, lorsque la profondeur de la carene ne sera pas la moitié de la plus grande largeur: on prendra la moitié de cette largeur qu'on ajoutera à la profondeur, & ce sera cette somme qui sera, pour ainsi dire, la largeur moyenne, qu'on multipliera par la longueur, pour avoir le rectangle dont le rapport avec la superficie convexe de la carene est exprimé par 100 & 128.

La surface de la carene étant trouvée, il n'y aura plus qu'à la multiplier par l'épaisseur qu'on se propose de donner au *soufflage;* & on sçaura combien le navire doit déplacer d'eau davantage, & de combien par conséquent la poussée verticale de la mer sera plus forte. Si le soufflage n'est pas par tout également épais, on prendra son épaisseur moyenne. Enfin pour découvrir l'avantage réel, ou ce qu'il

y a effectivement à gagner, il faudra, ainſi qu'on en a déja averti, retrancher la peſanteur même du bois ajouté. Comme cette peſanteur eſt très-conſidérable, elle diminue beaucoup de l'effet du soufflage, au moins de ce premier effet dont il s'agit maintenant. C'eſt ce qui oblige quelquefois de ne pas appliquer les nouveaux bordages ſur les anciens, mais de les appuyer ſur des tringles courbes, & c'eſt ce qu'on appelle *ſouffler ſur taquets*.

Si, pour ne pas changer d'exemple, nous ſuppoſons qu'on groſſiſſe, ou qu'on enfle d'un pied chaque endroit de la carene du vaiſſeau du premier rang, de 48 pieds de largeur; on trouvera, par l'analogie déja expliquée, que la ſurface de la carene ſera d'environ 9592 pieds quarrés, leſquels étant multipliés par un pied, donnent 9592 pieds cubiques, pour l'eſpace que la carene occupera de plus dans la mer; la pouſſée verticale de l'eau ſera donc plus grande d'environ 342 tonneaux. Je crois que le bois néceſſaire pour ce ſoufflage, peſera au moins 170 tonneaux; car en ne donnant aux nouveaux bordages que 3 pouces d'épaiſſeur, il en faudra 2398 pieds cubiques, qui peſeront 47 ou 48 tonneaux, s'ils ne ſont que de ſapin: mais les taquets, ou les eſpeces de membres qu'il faudra mettre au-deſſous, & qui auront 9 pouces d'épaiſſeur, peſeront au moins trois fois plus, ſans compter encore le poids de tout le fer qu'il faudra employer. On s'en rapporte ſur cela aux Conſtructeurs, comme ſur toutes les autres choſes qui ſont abſolument de leur reſſort. Quoiqu'il en ſoit, le ſoufflage exceſſif d'un pied ne ſoulagera tout au plus le vaiſſeau que de 170 tonneaux. Le navire pouſſé en haut avec cette force, s'élevera enſuite d'une quantité plus ou moins grande, qui dépendra de l'étendue de la coupe horiſontale de la carene, faite à fleur d'eau: plus cette étendue ſera grande, moins il ſera néceſſaire, comme il eſt évident, que le navire s'éleve. On a déja vu ci-devant qu'une diminution de 350 tonneaux dans le poids, faiſoit que le vaiſſeau ſortoit de l'eau d'environ 1 pied 5 pouces; ainſi les 170 tonnneaux dont le navire eſt actuellement

pouſſé en haut avec plus de force, le feroient ſeulement élever d'un peu plus de 8 pouces. On doit faire attention que ſi nous avons ſuppoſé, pour la facilité des calculs, que la peſanteur particuliere de la charge, ou du leſt, étoit toujours la même, rien ne nous ôte la liberté de la changer. On a gagné 8 pouces par le renflement de la carene; c'eſt une reſſource dont on peut enſuite diſpoſer, & avec laquelle on viendra ſouvent à bout de ſatisfaire à d'autres vues, que ce n'eſt pas encore ici le lieu d'expliquer.

IV.

Il ne nous reſte plus qu'à terminer ces détails de pratique par une remarque qui y tient trop naturellement, pour differer d'en parler. On penſe ordinairement que le *ſouf-flage* rend les vaiſſeaux trop peſans, & les empêche de marcher; ils ſont enſuite chargés, dit-on, d'une quantité prodigieuſe de bois & de fer, qui ne doit prendre du mouvement qu'avec difficulté. Il eſt vrai qu'en groſſiſſant la proue, on augmente ordinairement la réſiſtance qu'elle trouve à fendre l'eau, & qu'on peut ralentir la viteſſe du ſillage, ſi on n'a pas le ſoin d'élargir un peu les voiles en même-tems. Mais à l'égard de la plus grande peſanteur, on peut aſſurer qu'elle ne fait rien à la marche, & qu'elle n'y apporteroit pas la moindre difference, quand même on l'augmenteroit encore deux ou trois fois plus: on ſeroit ſeulement obligé de mettre enſuite moins de charge, ou de leſt dans la cale. Si l'on ſe bornoit à dire que c'eſt un déſavantage pour un navire de tranſport, que d'être déja chargé du poids de ſes propres matériaux, nous ne pourrions pas nous empêcher d'en convenir. Mais qu'importe-t-il dans un vaiſſeau de guerre, ou dans une frégate faite exprès pour la courſe, que la peſanteur particuliere de ſa carene, ou que le poids étranger du leſt qu'on ne met que pour y ſupléer, faſſe une plus grande ou une moindre partie du poids total, qui eſt toujours le même? Nous ſommes donc bien éloignés d'approuver l'uſage où l'on eſt d'épargner extrêmement le bois dans la carene des corvettes

vettes & des frégates, ausquelles on veut donner l'avantage de bien singler. Sous prétexte de les rendre plus legeres, & de leur conserver peut-être leur nom *, on donne très-peu d'épaisseur à leurs bordages; & en même-tems qu'on diminue de la grosseur de leurs membres, on en diminue le nombre : tout cela produit une foiblesse dans l'assemblage du tout, qui ne peut pas manquer de devenir souvent funeste. Il faut remarquer au surplus que ce qu'on dit ici, ne regarde que la partie qui entre dans l'eau : les raisons précédentes ne vont qu'à cela; à l'égard des parties supérieures, il faut toujours en diminuer le poids le plus qu'on peut.

* Frégates legeres.

CHAPITRE IV.

Du jaugeage des vaisseaux, & premierement de celui qui se fait en tonneaux d'arrimage, ou de volume.

I.

NOUS avons comme résolu d'avance la question du jaugeage, qui est très-importante pour le Commerce, & qui appartient aussi à notre sujet. On a répandu sur cette matiere une si grande obscurité, que si on excepte le petit nombre de Géometres qui se sont trouvés de tems en tems dans la Marine, on peut assurer que personne n'y a attaché d'idée distincte. On demande tous les jours de combien est *le port* d'un vaisseau, ou de combien de tonneaux il est; les Marins & les Négocians font continuellement cette question, pendant que les Constructeurs & les Jaugeurs s'empressent d'employer divers moyens pour la résoudre. Mais il reste presque toujours à sçavoir, aussi bien aux uns qu'aux autres, si le tonneau dont ils se servent pour exprimer la grandeur du navire, est un poids, ou une mesure simplement étendue : car presque tous, dans cette rencontre, confondent l'espace & la pesanteur,

quoique de natures si differentes. On connoît en effet deux sortes de tonneaux. Le premier, dont on a déja parlé, n'est autre chose que le poids de deux mille livres, & le second, qu'on nomme tonneau *d'Arrimage*, pour le distinguer, est l'espace qu'occupent quatre barriques, ordinairement de celles dont on se sert à Bordeaux, pour mettre le vin. Quelques navires peuvent porter autant de tonneaux *de poids*, ou *de port*, c'est-à-dire de fois 2000 livres qu'ils peuvent contenir dans leur cale de tonneaux *d'Arrimage*, ou contenir de fois l'espace de quatre barriques; d'autres, & particulierement les plus petits, portent plus de tonneaux de poids, qu'ils ne peuvent contenir de tonneaux d'arrimage: au lieu que c'est tout le contraire dans les grands bâtimens, & principalement dans les vaisseaux proprement dits. Cependant on se sert presque toujours des mêmes méthodes pour jauger les uns & les autres; & cela le plus souvent, comme on vient de le dire, sans sçavoir de quelle espece de tonneaux il s'agit.

Il ne convenoit pas à la dignité de l'Ordonnance de la Marine de 1681, qu'elle descendît dans un plus grand détail sur ce sujet. Elle s'est contentée d'assigner 42 pieds cubiques au tonneau; ce que plusieurs personnes ont regardé comme un argument incontestable, qu'il s'agissoit donc principalement dans ce problême de tonneaux d'arrimage, ou qui ne sont qu'étendus; de sorte qu'on a prétendu que l'opération du jaugeage n'étoit qu'une pratique de pure Géométrie, sans nulle rapport à l'Hydrostatique, ni au poids de la charge. C'étoit au Commentateur à lever la difficulté, & à dissiper le doute; s'il n'eut pas été aussi peu initié qu'il l'étoit, dans les matieres exactes telles que la Géométrie. L'Ordonnance veut que tout jaugeage dans lequel on ne se trompe que d'une quarantieme partie, soit réputé bon; c'est-à-dire qu'une erreur d'un tonneau sur quarante, ou de deux sur 80, ou de 2 ½ sur 100, doit être tolerée. Rien n'est plus sage que cette disposition, pour arrêter le cours à une infinité de disputes; & pour obliger en même-tems les Jaugeurs à

apporter dans leur opération une assez grande précision. Ces vues ont échappé au Commentateur qui prétend, ce qu'on auroit de la peine à croire, que l'intention de la Loi est de permettre aux Jaugeurs les méprises mêmes qui seroient, non pas de $2\frac{1}{2}$ tonneaux, mais de 40 sur 100. Erreur monstrueuse, dans laquelle il n'est pas même possible de tomber, lorsqu'on a quelque usage de la Marine, & qu'on juge de la grandeur d'un navire par la seule estime! Tout ce qu'on peut donc faire de mieux dans la circonstance présente, c'est de discuter la question dans les deux divers sens dont elle est susceptible; de la résoudre en prenant le tonneau, soit pour une mesure étendue, soit pour une mesure pesante. Cependant on s'attachera principalement aux moyens de trouver les tonneaux *de poids*, ou *de port*, parce qu'il n'est pas douteux que ce ne soient ceux qu'on doit le plus autoriser dans l'usage ordinaire. Outre que ce n'est pas par leur étendue, mais par leur poids que les marchandises chargent un vaisseau en le faisant caler, il est certain qu'on en connoît bien mieux la quantité par la pesanteur que par le volume, qui ne peut presque jamais être mesuré que grossierement; à cause des vuides qui se trouvent toujours, malgré la perfection de *l'arrimage*, & ausquels on ne peut pas avoir égard.

II.

Trouver la grandeur des vaisseaux en tonneaux d'arrimage.

Aussi-tôt qu'on prend le tonneau pour une mesure étendue, la question du jaugeage ne se réduit qu'à la mesure de la capacité intérieure de la cale, qui est destinée à recevoir la charge. Cette mesure ne sera pas plus difficile que celle de la carene qu'on a déja expliquée. On divisera la cale en plusieurs prismes par des plans horisontaux & verticaux; ou bien on se contentera, si on le veut, de la partager en plusieurs tranches par les seuls plans horisontaux. On trouvera l'aire, ou l'étendue de ces plans, en mesurant

leur largeur en plusieurs endroits à une égale distance les uns des autres ; & aussi-tôt qu'on aura trouvé l'étendue de tous ces plans, il n'y aura plus, comme on l'a vu ci-devant, qu'à les ajouter deux à deux, & multiplier la moitié de leur somme par la distance verticale, pour avoir la solidité de la tranche qu'ils interceptent ; & enfin la somme de toutes les tranches donnera la capacité requise. C'est naturellement par le dedans du navire qu'on doit exécuter cette espece de jaugeage ; puisqu'il s'agit de connoître un espace intérieur. On peut néanmoins l'exécuter aussi par dehors en cas de besoin, en retranchant l'épaisseur toujours assez connue des membres & des bordages qui forment les flancs de la carene.

Les Jaugeurs, au lieu de partager la cale en un très-grand nombre de parties, se contentent pour l'ordinaire de prendre un assez petit nombre de dimensions. Ceux qui en prennent le plus, mesurent en pieds & en pouces la profondeur de la cale en trois endroits, au milieu & aux deux extrémités ; sçavoir au pied du mât de mizaine, & à huit ou neuf pieds de distance de l'étambot, & faisant une somme de ces trois profondeurs, ils en prennent le tiers, ce qui leur donne une profondeur moyenne, ou *réduite.* Les largeurs, ils les mesurent aussi dans les mêmes endroits ; mais en chaque endroit ils en prennent trois, l'une en haut, au-dessous des baux, où elle est la plus grande ; l'autre au milieu, & la troisieme tout-à-fait en bas, proche la carlingue. Par le moyen de ces trois largeurs mesurées au milieu & aux deux extrémités du navire, ils trouvent trois largeurs *réduites*, qu'ils réduisent ensuite en une seule, en les ajoutant ensemble, & en prenant le tiers, ce qu'ils peuvent faire aussi en joignant ensemble les neuf premieres largeurs, & en prenant la neuvieme partie du tout. Enfin ils multiplient, comme il est clair qu'ils le doivent faire, la derniere largeur réduite par la profondeur aussi réduite, & le produit par toute la longueur de la cale, ce qui leur donne à peu près la capacité qu'ils cherchoient.

Il ne leur reste plus après cela qu'à convenir de la juste étendue du tonneau, pour pouvoir réduire la capacité qu'on ne connoît qu'en pieds cubiques. Supposé que cette capacité soit de 10000 pieds, & que le tonneau soit déterminé à 42, comme on le prétend ordinairement, le navire sera de 288 tonneaux. Mais comme il ne paroît pas que l'Ordonnance ait eu en vue de rien statuer sur le jaugeage intérieur, on ne doit donner aucune préférence à cette détermination. Ce qui nous le persuade, c'est non-seulement que l'espace qu'occupent 4 barriques, & qu'on a toujours pris pour le tonneau d'arrimage, est considérablement plus grand que 42 pieds, ce qui étoit trop facile à reconnoître, pour que les Experts consultés pussent s'y tromper; c'est encore le témoignage de tous ceux qui ont écrit avant ou depuis l'Ordonnance sur les matieres qui ont rapport à ce sujet. Tous ne parlent que du tonneau de poids, ou font entendre qu'il ne s'agit que de celui-là *: de sorte que l'autre, s'il est permis de parler de la sorte, n'est connu que par une espece de tradition orale. Dans le petit Dictionnaire même qui est à la fin de l'Ordonnance, & qui n'est pas sans doute de la main du Commentateur, on ne prend le tonneau que pour un poids: on montrera d'ailleurs le rapport secret que peut avoir le volume de 42 pieds cubiques avec la pesanteur de 2000 livres. Mais que prendre donc pour le volume précis du tonneau d'arrimage ? Il faut avouer qu'il se trouve une assez grande difficulté à lui assigner une juste étendue. Car outre que les barriques sont de différentes grandeurs dans toutes nos Provinces Maritimes, les mêmes barriques occupent plus ou moins de place selon la diverse forme des navires, & selon aussi la commensurabilité ou l'incommensurabilité qui se trouve entre leurs dimensions & celles de la cale. Tout cela fait que les vuides se trouvent différemment distribués, & plus ou moins grands; de sorte qu'il s'en faut assez que le nombre des barriques ou des tonneaux qui entrent dans deux différens espaces, soit proportionnel à l'étendue de ces espaces. Quelquefois quatre

* Voyez le P. Fournier, Livre XVII. de son Hydrographie.
Dassié, Architecture navale.
Aubin, Dictionnaire de la Marine.
Moitret de Blainvile, Traité du Jaugeage.
Savary, Dictionnaire du Commerce.
Robbe, Traité de Navigation.
Desroches, Dictionnaire de la Marine &c.

barriques n'occupent que 46 ou 47 pieds, & quelques autres fois 48 ou 50, & même 51. Or si l'on joint à la différence que cela doit apporter, les erreurs, je ne dis pas que commettent les Jaugeurs par leur méthode grossiere de mesurer la cale, mais les erreurs mêmes qui sont inévitables, on conviendra qu'il est moralement impossible de perfectionner assez cette espece de jaugeage, pour que l'erreur totale qu'on doit craindre soit renfermée dans les limites étroites établies par l'Ordonnance.

Puisque le tonneau d'arrimage n'est pas assez déterminé par lui-même, & ne peut pas même l'être, il n'y a qu'une autorité supérieure, celle du Législateur, qui puisse, en méprisant les inconvéniens particuliers, le fixer à une certaine étendue. Mais si l'on veut toujours lui conserver quelque rapport avec l'espace qu'occupent quatre barriques, afin de ne pas renverser toutes les idées que les Marins se sont faites sur ce sujet, il ne faut pas se contenter de le faire de 42 pieds, il faut le faire au moins de 48 ou de 49. C'est cet espace que remplissent ordinairement quatre barriques dans les bâtimens de transport, qui sont les plus commodes pour l'arrimage. La barrique de vin de Bordeaux a 2 pieds 1 pouce de diametre, & 2 pieds $9\frac{1}{2}$ pouces de longueur. Or 50 de ces barriques distribuées en 5 rangs l'un sur l'autre, occupent, en y comprenant les vuides, un espace de presque 606 pieds cubiques, ce qui donne au tonneau d'arrimage environ $48\frac{1}{2}$ pieds. Cette détermination n'est bonne que pour le milieu du navire; & cela encore, lorsque la largeur & la profondeur contiennent un certain nombre de fois le diametre de la barrique; car il arrive souvent que des bâtimens médiocres eussent portés deux cens barriques de plus, s'ils eussent eu leur profondeur seulement plus grande de deux ou trois pouces. Vers la proue & vers la poupe, l'arrangement sera encore plus difficile; on y perdra par conséquent beaucoup plus par les vuides: & on doit même toujours se souvenir qu'il est comme impossible de rien mettre en avant du pied du mât de misaine, de même que dans un espace irrégulier vers la poupe, qui se termine

à l'étambot, & qui peut avoir 7 ou 8 pieds de long dans les navires médiocres.

Mais après avoir tout considéré, on ne croit pas qu'il résultât aucun avantage d'une nouvelle détermination du tonneau. Si le vaisseau doit être chargé de choses très-pesantes, comme de marbre, de fer, &c. sa charge n'occupera qu'une très-petite partie de sa cale; de sorte qu'il ne servira de rien d'en connoître alors la capacité totale. Ce n'est pas dans ce seul cas que le jaugeage intérieur devient inutile; c'est même dans le cas tout opposé, quoique plus ordinaire. Toutes les fois qu'on se propose de charger le navire de marchandises legeres, comme de vin, d'eau-de-vie, d'huiles, &c. il faut nécessairement mettre au-dessous une certaine quantité de *lest*, c'est-à-dire un certain poids qui n'est pas réputé charge, & qui ne sert qu'à donner au navire la force de se soutenir, à cause de la figure qu'on donne à sa carene. Or l'espace qu'occupe ce *lest*, & qui est plus ou moins grand, selon la matiere dont il est formé, & aussi selon la pesanteur spécifique des marchandises, est à retrancher de l'espace qu'on employe utilement. Ainsi on voit que l'expression de la grandeur du vaisseau en tonneaux d'arrimage, n'est non-seulement jamais bien exacte, mais qu'elle ne peut donner aussi qu'une notion peu distincte de la quantité actuelle de la charge.

III.

Maniere de regler le droit d'Ancrage, & les autres droits de même espece.

Le seul cas où il paroît qu'on puisse employer cette espece de jaugeage, & encore avec quelque modification, c'est lorsqu'il s'agit de regler le droit d'ancrage, & tous les autres droits que payent les navires pour la réparation & l'entretien des bassins dans lesquels ils entrent; parce que ces droits ne dépendent ni de la quantité ni de la nature des marchandises, & qu'ils sont les mêmes, lorsque le navire est vuide que lorsqu'il est chargé. Alors il n'est

certainement question que de l'espace que le bâtiment occupe dans le Port, ou qu'il y embarrasse ; & comme la capacité intérieure de la cale est à-peu-près égale à la solidité de la carene, on pourroit prendre l'une pour l'autre. Cependant je crois qu'on peut rendre la chose encore beaucoup plus simple & moins sujette à toute contestation, en considérant que c'est principalement par en haut que le navire occupe de la place dans le Port ; & que l'embarras qu'il cause est précisément le même, soit qu'il soit construit à plates varangues, ou qu'il ait les plus grandes façons. Ainsi sans entrer dans le détail de la figure de sa carene, ni sans examiner si elle est grande ou petite à proportion du reste, il suffiroit de considérer le parallelipipede rectangle circonscrit au vaisseau, & de regler le droit sur ce solide. Il est nécessaire d'avoir égard à la profondeur de la carene, car selon que le navire est plus ou moins creux, on lui assigne diverses places dans le bassin, ou dans le port ; & c'est pour cela qu'au lieu de prendre le rectangle circonscrit à la coupe horisontale faite à fleur d'eau, il faut absolument prendre le parallelipipede même.

Une seule chose seroit à observer, c'est que comme le parallelipipede circonscrit, & qui est censé occupé par le navire, est beaucoup plus grand que la capacité intérieure de la cale, il faudroit, afin que le droit fut toujours le même, (puisqu'il n'est pas question d'en faire acquerir un nouveau à ceux qui l'ont déja), le réduire & le rendre moindre à proportion sur chaque pied cubique. Si le droit d'ancrage est, par exemple, de 5 sols par tonneau, un navire de 250 tonneaux, doit payer 62 livres 10 sols ; & si l'on cherche la solidité du parallelipipede rectangle circonscrit à un pareil navire, & qu'on prenne le milieu de ce qui résulte des différentes fabriques ou constructions, on trouvera qu'elle est d'environ 20000 pieds cubiques. Or il ne reste plus qu'à repartir les 62 livres 10 sols à cette solidité, & on apprendra que chaque espace de 320 pieds cubiques doit payer une livre, ou 20 sols.

S'il

S'il eſt queſtion après cela de déterminer le droit pour tout autre Navire, pour un, par exemple, qui ait 122 pieds de longueur de l'étrave à l'étambot, 34 pieds de plus grande largeur, & 17 de creux; le parallelipipede circonſcrit ſera de 70516 pieds cubiques, produit de 122 par 34 & 17. On pourroit même, pour une plus grande ſimplicité, ſe faire une loi de ſuppoſer toujours que le creux eſt la moitié de la plus grande largeur, ſans ſe donner la peine de le meſurer. Enfin, diviſant la ſolidité 70516 par le nombre conſtant 320, il viendra au quotient 220 livres & un peu plus de 7 ſols pour le droit d'ancrage requis. Ce qu'on vient de faire ici pour certains ports, ſe peut exécuter avec la même facilité pour tous les autres; & on pourroit aiſément former auſſi des tarifs pour tous les navires. Si le droit eſt fixé à 1 ſ. par tonneau, au lieu de diviſer le ſolide des trois dimenſions par 320, il faudra diviſer par 1600. Si le droit eſt de 2 ſ. il faudra diviſer par 800. S'il eſt de 3 ſ. on diviſera par 533 $\frac{1}{3}$, & s'il eſt de 4, on diviſera par 400. Cette maniere de déterminer les droits dont il s'agit, auroit cela de particulier, outre ſes autres avantages, que comme il ne ſeroit pas poſſible de la confondre avec les vraies méthodes de jauger, elle ne cauſeroit jamais d'équivoque. On juge aſſez que ce n'eſt qu'avec quelque ſorte de répugnance que le Mathématicien ſe livre à des diſcuſſions telles que celle-ci, où il s'agit d'intérêts très-legers, en comparaiſon de l'objet important qui nous occupe dans ce Traité. Mais nous ne ſçaurions trop nous laiſſer entraîner par le motif de rendre nos ſciences utiles : nous croyons d'ailleurs avoir ôté la racine à une infinité de conteſtations, en donnant le moyen de regler avec équité des choſes qui n'avoient été décidées que par l'eſtime trompeuſe des Experts, ou que ſur des regles très-peu fideles.

CHAPITRE V.

Du Jaugeage des vaiſſeaux en tonneaux de poids.

I.

ON ne deſcendra pas dans le détail de tous les moyens qu'ont imaginé les Conſtructeurs & les Jaugeurs pour trouver le port des vaiſſeaux en tonneaux de poids, ou de 2000 livres. Peu aidés de la Géométrie, & encore moins inſtruits des principes d'Hydroſtatique, ils ont été bien éloignés de ſoupçonner que la peſanteur de la charge étoit exprimée par la ſeule partie de la carene qui fait la difference du plus grand & du moindre enfoncement, lorſque le navire eſt chargé, & lorſqu'il eſt vuide. Au lieu de cela ils ſe ſont fait des méthodes particulieres, en prenant pour *expoſant* de la charge, des parties qui n'y avoient aucun rapport; j'ai vu de ces Conſtructeurs, & même de ceux qui s'étoient fait quelque réputation, qui tiroient au-dedans du navire deux eſpeces de diagonales, l'une du haut de l'étambot au bas de l'étrave, & l'autre du haut de l'étrave au bas de l'étambot, & qui meſurant enſuite en pieds & en pouces combien le point d'interſection de ces deux diagonales étoit élevé au-deſſus de la quille, attribuoient un certain nombre de tonneaux à chaque pouce d'élevation. Ces Conſtructeurs, auſſi peu Géométres que ces Peuples de Grece dont nous parle Plutarque, qui doubloient ſi mal l'autel d'Apollon, euſſent pu ſe faire une méthode également bonne, en ſe réglant ſur toute autre partie qu'ils euſſent voulu du vaiſſeau, comme ſur la ſtatue, par exemple, qu'on place à l'extrémité de la proue pour ſervir d'ornement. Mais pour trouver leur compte par un moyen ſi extraordinaire, il ne ſuffiſoit pas qu'ils employaſſent toujours ſcrupuleuſement les mêmes gabaris dans leur conſtruction, il falloit encore qu'ils n'euſſent jamais

construit que des navires à peu près de même grandeur : sans cela ils n'eussent pas pû se dispenser d'apprendre à la fin, que la solidité des corps semblables ne suit pas le rapport simple de quelqu'un de leur côté, mais un rapport très-différent.

Il ne faut pas tout-à-fait confondre avec ces méthodes formées contre toutes les régles, celle qui est autorisée par un espece de Reglement, & qui se trouve depuis long-tems entre les mains des Jaugeurs un peu plus instruits, quoiqu'elle soit encore très-défectueuse. Cette Méthode, connue sous le nom de *Méthode de Rouen*, ne differe pas du jaugeage intérieur dont on a déja parlé ; puisqu'après avoir trouvé la capacité de la cale en pieds cubiques, on ne fait autre chose que la diviser par 42, conformement à l'Ordonnance. Il est certain que cette pratique est encore très-défectueuse ; puisqu'elle employe, pour déterminer la pesanteur particuliere de la charge, une solidité qui n'y a aucun rapport, la capacité entiere de la cale, qui étant à peu près égale à la carene, ou à toute la partie submergée, n'est propre qu'à donner la pesanteur totale du vaisseau. S'il étoit question de déterminer cette derniere pesanteur, il faudroit, comme on l'a vu, diviser toute la solidité par 28 : de même que la méthode exacte & géométrique de trouver la pesanteur particuliere de la charge, est de diviser par ce même nombre la partie du haut de la carene qui se plonge par le seul poids des marchandises. Mais aussi-tôt qu'on veut mal-à-propos déduire le port du vaisseau, ou la seule pesanteur de sa charge, de la solidité entiere de la carene, ou de la capacité de la cale, qui lui est à peu près égale, & qui sont l'une & l'autre beaucoup trop grandes, il faut indispensablement diviser par un nombre aussi trop grand. Il faut que ce nombre soit plus grand dans le même rapport que toute la carene surpasse cette partie qui fait la différence des deux enfoncemens ; ou en même rapport que la pesanteur totale du vaisseau est plus grande que celle de sa charge.

C'est de cette sorte qu'on s'est trouvé dans la nécessité

de diviser tantôt par 40, ou 42, tantôt par 56, & quelquefois par 60, ou 80; quoiqu'il soit certain que le tonneau de 2000 livres n'a jamais besoin, pour se soutenir, que d'un enfoncement dans la mer de 28 pieds cubiques. Le Pere Fournier rapporte, dans son Hydrographie, qu'on prenoit de son tems 56 pour diviseur; & si l'on en croit le Pere Tosca, on suivoit encore il y a peu d'années en Espagne, une opération qui revenoit à la même chose que si l'on eût divisé par ce nombre, jusqu'à ce qu'un nouveau Reglement, qui vaut encore moins, a prescrit de diviser le solide des trois dimensions, la plus grande largeur, la profondeur & la longueur moyenne * du vaisseau par 128; ce qui doit donner à peu près la même chose que si l'on divisoit la solidité seule de la carene par 60 ou 64. On a donc commencé par se tromper, en voulant exprimer le poids des marchandises par toute la carene, ou toute la capacité de la cale qui, au lieu d'être *l'exposant* de la charge, l'est plutôt de la pesanteur totale du navire tout compris; & il a fallu ensuite, pour réparer cette premiere faute, en commettre une seconde, en attribuant au tonneau un déplacement trop grand dans le même rapport. Lorsqu'il s'est trouvé que la charge n'étoit que la moitié de la pesanteur totale, au lieu de diviser la solidité de la carene par 28, on l'a fait par 56; ce qui a donné un quotient deux fois moindre. On a divisé par 48, lorsque la pesanteur de la charge n'étoit que le tiers de la pesanteur totale. Enfin, l'Ordonnance de 1681, a voulu qu'on prit toujours 42 pour diviseur, sur l'avis des Experts, qui avoient examiné principalement des navires de transport, dans lesquels la pesanteur de la charge étoit à peu près les deux tiers de la pesanteur totale; pendant que leur pesanteur particuliere formoit l'autre tiers.

* La longueur moyenne dont il s'agit, tient le milieu entre toute la longueur du vaisseau, & la longueur de sa quille.

II.

Mais s'il est quelquefois vrai que la pesanteur particuliere du navire soit effectivement le tiers de la pesanteur qu'il a avec sa charge, il est certain qu'on ne peut pas en

faire une regle générale. Il s'en faut d'abord extrêmement que cette regle soit applicable aux vaisseaux de guerre ; parce qu'ils sont déja comme chargés par le poids de leur artillerie & de leurs munitions ; ce qui oblige de leur donner ensuite beaucoup moins de charge à proportion, & peut-être la moitié moins : de sorte qu'au lieu de diviser par 42, il faudroit le faire par 60, ou 80, & peut-être par 100. Dans les navires, mêmes marchands, il se trouve tous les jours qu'à cause de leur fabrique plus ou moins pesante, & de la diversité de leurs appareaux, l'un pese un tiers, ou un quart plus que l'autre, quoiqu'ils soient destinés à avoir une égale pesanteur totale, parce que leur carene, ou la partie qu'ils doivent plonger dans la mer, est exactement de même solidité. Il arrive encore à peu près la même chose aux mêmes navires considérés en différens états : car on fait quelquefois de très-grands changemens dans leurs hauts, ou dans ce qu'on appelle leurs *œuvres mortes* : On leur ajoute un pont, ou on le retranche ; on donne du canon à un navire qui n'en avoit pas. Or tous ces changemens, qui ne doivent apporter aucune altération au poids total du navire, puisque la carene est toujours la même, doivent se manifester ensuite sur la pesanteur de la charge, qui doit être plus ou moins grande, précisément de la même quantité. Malheureusement la méthode ordinaire de jauger est trop inflexible pour entrer dans ces sortes de considérations, & elle sera toujours incapable de sentir toutes ces différences. Enfin, pour le dire encore une fois, lorsqu'on mesure la solidité entiere de la carene, & qu'on se borne à cette seule mesure, on est bien en état de découvrir la pesanteur totale du vaisseau qui lui est proportionnelle ; mais il n'est jamais possible d'en déduire la pesanteur particuliere de la charge, puisqu'on ne sçait pas le rapport qu'elle a avec l'autre, & que ce rapport est très-variable.

On n'avance rien ici qui ne se trouve parfaitement conforme à l'expérience. Les Gabares dont on se sert au Croisic pour transporter les sels d'un endroit du Port à

l'autre, n'ont point de pont, & n'ont qu'un ſeul mât qu'on arbore, ou qu'on abaiſſe ſelon les occaſions : je meſurai avec ſoin la capacité de la cale d'une de ces gabares nommée la *Mariane*, que je trouvai de 615 pieds cubiques, & diviſant cette ſolidité par 42, il me vint $14\frac{27}{42}$ tonneaux pour ſon port Cependant il eſt bien certain qu'elle pouvoit porter davantage : c'eſt ce que je ſçus non-ſeulement par la meſure exacte de la partie qui enfonçoit dans l'eau par la peſanteur de la charge ; mais auſſi par la quantité de ſel que cette gabare portoit effectivement. Pour obtenir plus exactement la ſolidité de la partie qui ſe plongeoit par le poids de la charge ; je meſurai ſa largeur en 47 endroits, & je trouvai que cette ſolidité étoit de 500 pieds cubiques 981 pouces, ce qui donne, pour la véritable peſanteur de la charge, 36040 liv. ou 18 tonneaux 40 liv. Ainſi la méthode ordinaire de jauger rendoit le port trop petit d'environ une cinquiéme partie du tout.

Une flute Hollandoiſe nommée *le Cordonnier*, qui ſe trouva au Croiſic dans le même-tems, avoit preſque toutes ſes largeurs égales, & la moyenne étoit de 19 pieds 0 pouces 9 lignes : ſa profondeur réduite étoit de 9 pieds $5\frac{3}{4}$ pouces, & ſa longueur méſurée depuis le mât de miſaine juſqu'à 8 pieds de l'étambot, étoit de 67 pieds. Le produit de ces trois dimenſions donne à peu près 12107 pieds cubiques, & diviſant cette ſolidité par 42, il vient $288\frac{11}{42}$ tonneaux pour le port de cette flute, & on pouvoit le ſuppoſer encore plus grand ; parce que rien n'empêchoit de prendre 70 ou même 75 pieds pour ſa longueur, au lieu de 67. Cependant je m'aſſurai en meſurant avec un extrême ſoin, & par très-petites portions, la partie de la carene qui faiſoit la différence des deux enfoncemens, que cette flute ne pouvoit pas porter un ſi grand poids. Cette partie de la carene qui eſt *l'expoſant* de la charge, n'étoit que de 7063 pieds cubiques 1526 pouces, leſquels n'indiquent que 254 tonneaux 599 livres. Mais d'où vient que la méthode vulgaire de jauger, qui rendoit le port de la gabare trop petit, rendoit en même-

tems celui de la flute trop grand ? La raiſon en eſt bien évidente. La gabare étoit très-legere, & ne peſoit pas le tiers de la peſanteur totale qu'elle avoit avec ſa charge ; d'où il ſuit que la charge devoit être plus grande que les deux tiers de la peſanteur totale, & plus grande par conſéquent que ne la ſuppoſoit la méthode ordinaire de jauger. La flute au contraire étoit beaucoup plus peſante à proportion, à cauſe de ſes ponts & de ſa mâture ; & ſa peſanteur particuliere étant plus grande que le tiers de la peſanteur totale, la charge devoit être moindre que les $\frac{2}{3}$. C'eſt pourquoi la méthode ordinaire, qui ſuppoſe abſolument & ſans diſtinction que la charge eſt toujours les $\frac{2}{3}$ de la peſanteur totale, la faiſoit trop grande.

Mais s'il ſe trouve une erreur déja ſi conſidérable dans les bâtimens de tranſport, comme les flutes, qui n'ont point du canon & qui n'ont qu'un ſeul tillac, elle doit l'être bien davantage dans les navires qui ſont *frégatés*, qui ſont à deux ponts, & qui ont de l'artillerie. Ces navires ſeront incomparablement plus peſants ; & ſuppoſé qu'un de ces navires ait ſa cale préciſément de même capacité que la flute, trompé qu'on ſera par la méthode que nous réfutons, dans laquelle la conſidération des différentes peſanteurs du bâtiment n'entre point, on croira que le navire ſera également de 288 tonneaux. Cependant il eſt certain qu'il ne ſera pas même de 254 ; puiſqu'il ſera encore beaucoup plus chargé par ſon propre poids, que ne l'étoit la flute.

Il réſulte de tout cela que pour ne pas s'expoſer à commettre des injuſtices criantes, il faut, au lieu de chercher la ſolidité de la carene entiere, s'attacher à la meſure de la ſeule partie qui fait la différence des deux enfoncemens, & qui ſeule eſt proportionnelle à la peſanteur de la charge. Il ſeroit inutile de tenter la diviſion de la ſolidité de la cale entiere par quelqu'autre nombre que par 42 pieds : car tous les nouveaux diviſeurs qu'on pourroit choiſir, ſuppoſeroient toujours quelques rapports déterminés entre la peſanteur totale & le poids de la charge, mais

ces rapports ne pourroient avoir encore lieu que par hazard dans certains vaisseaux. Lorsqu'on mesurera au contraire la partie de la carene qui fait la difference des deux enfoncemens, on se fera une méthode qui sera absolument générale, & qui réussira aussi-bien dans l'application qu'on en fera aux vaisseaux de guerre, que dans celle qu'on fera aux gabares & aux bateaux qui navigent sur les rivieres. Ce sont-là les deux cas extrêmes, dans lesquels le jaugeage, selon la méthode ordinaire; est sujet au plus grandes erreurs, en se trompant en excès sur le port des vaisseaux, & en défaut sur celui des gabares. Si le navire par lui-même est beaucoup plus pesant, il doit porter ensuite un moindre poids étranger; mais la partie de la carene qui reste à caler, sera plus petite dans le même rapport; il suffira donc toujours de la mesurer, pour avoir exactement le poids de la charge.

CHAPITRE VI.

Suite du Chapitre précedent : Méthode de trouver la pesanteur de la charge, en mesurant la partie de la carene qu'elle fait plonger dans la Mer.

I.

IL ne sera jamais difficile de mesurer exactement cette partie qui fait la différence des deux enfoncemens, ou qu'on doit regarder comme l'exposant du poids des marchandises : rien n'empêche de se servir de la méthode expliquée ci-devant, pour trouver la solidité des tranches de la carene. Mesurant en pieds quarrés l'étendue des deux coupes horisontales faites à fleur d'eau, lorsque le navire est chargé, & lorsqu'il est vuide, il n'y a qu'à ajouter ces deux étendues ensemble, & en prendre la moitié, pour avoir la coupe moyenne; & multipliant cette

cette derniere étendue par la hauteur ou l'épaisseur de la partie, il viendra la solidité, qu'il ne restera plus qu'à diviser par 28, pour avoir la pesanteur de la charge en tonneaux. Diverses personnes dans la Marine ont connu depuis long-tems cette pratique, ou ses équivalentes : elle étoit sçue il y a plus de 60 ans à Brest, feu M. Coubard, aussi habile Mathématicien que sçavant Hydrographe ; m'ayant assuré qu'elle étoit en usage dans ce Port, lorsqu'il y arriva ; & il seroit facile de remonter à une époque encore plus éloignée, si on le vouloit. C'est cette Méthode que M. Hocquart, qui l'avoit apprise à Brest, de M. Coubard même, eut le soin d'adresser au Conseil de Marine dès 1717, & que M. de Mairan, trop éclairé pour ne pas faire un bon choix, consentit à adopter, en la préférant à un grand nombre d'autres *; mais après l'avoir purgée de quelques défauts dont elle s'étoit chargée dans les différentes mains par lesquelles elle avoit passé. Cette pratique suppose que les coupes horisontales de la carene sont en progression arithmétique, ou qu'elles sont proportionnelles à celles du conoïde parabolique, coupé perpendiculairement à son axe. On pourroit craindre que des arcs de parabole pris à une certaine distance du sommet, fussent trop droits pour représenter toute la courbure de la carene dans le sens vertical, & que la Méthode rendît le port du vaisseau un peu trop petit. Mais comme les deux coupes, la plus haute & la plus basse, qui interceptent la partie qui fait la différence des deux enfoncemens, sont toujours peu éloignées l'une de l'autre, il est certain que le défaut de courbure de la parabole ne peut apporter que des erreurs peu considérables, & qui seront pour l'ordinaire assez petites pour devoir être tolérées.

* Voyez les Mémoires de l'Academie des Sciences, année 1721.

Nous devons ajouter que cette Méthode peut encore s'abreger, & souvent en devenant plus exacte. Au lieu de chercher l'étendue de la coupe moyenne de la partie de la carene qui fait la différence des deux enfoncemens, en prenant la moitié de la somme de la premiere

& de la derniere, il n'y a qu'à la mesurer immédiatement, en se dispensant de mesurer les deux autres. On trouvera sensiblement la même chose, comme je l'ai éprouvé quelquefois : à cela près que cette coupe moyenne actuellement mesurée, sera presque toujours un peu plus grande ; ce qui réparera souvent le défaut dans lequel on tombe, en attribuant aux flancs de la carene la courbure parabolique qui est un peu trop petite ; pourvu néanmoins qu'on ne tombe pas dans l'excès contraire.

Prenons, pour exemple, un navire qui étant sans charge, ait tous ses agreils, son artillerie & ses munitions à bord ; ou dans lequel on ait au moins déja introduit un poids égal à la pesanteur de toutes ces choses. On l'examinera lorsqu'il sera à flot, & on verra combien il doit encore caler par le poids de sa charge, sans être exposé à aucun accident : s'il a, par exemple, encore 7 pieds à enfoncer, on mesurera l'étendue de la coupe horisontale, $3\frac{1}{2}$ pieds au-dessus de la surface de l'eau. Ce sera la coupe moyenne dont on vient de parler ; & il ne restera plus qu'à la multiplier par les 7 pieds d'épaisseur de toute la tranche pour avoir la solidité. Il n'est pas nécessaire que je dise derechef que pour mesurer l'étendue de la coupe, on doit la partager en plusieurs trapezes, par des largeurs prises à une égale distance les unes des autres. Si ces largeurs se trouvent en commençant vers la poupe de 1 pied, de 16, de 26, de 28, de 29, de 28, de 27, de 22 & de 1, & que la distance de l'une à l'autre, soit de 15 pieds, parce que toute la longueur de la coupe est de 120, son étendue sera de 2655 pieds quarrés, qu'il ne restera plus qu'à multiplier par 7, hauteur de toute la partie qui se plonge par la charge ; & il viendra pour la solidité 18585 pieds cubiques, qui étant divisés par 28, donnent environ 664 tonneaux pour le port du navire dont il s'agissoit.

Nous ne devons pas au reste négliger de faire une remarque que nous croyons très-importante. C'est qu'il est absolument nécessaire, pour mesurer l'étendue des

coupes horisontales, ou d'employer le moyen dont nous nous sommes servis, ou d'en employer quelqu'autre, qui étant invariable dans les opérations qu'il exige, ne laisse rien au choix ni à la direction du Jaugeur. Lorsque je fis au Croisic des épreuves de cette Méthode, à la recommandation de l'Académie, dont je n'avois pas encore l'honneur d'être membre, je crus sur l'exposé du P. Reyneau, qu'il n'étoit pas précisément question de la maniere de mesurer les coupes horisontales : mais qu'il s'agissoit de reconnoître quelle loi elles suivoient; de sçavoir si elles étoient proportionnelles aux coupes correspondantes d'un conoïde parabolique, ou si elles suivoient quelqu'autre progression. Ce ne fut que de cet unique point de vue que je considerai le problême, & que je rendis témoignage de l'exactitude que je trouvai dans chaque opération. Ainsi les épreuves que je fis alors, ne sont favorables à celle dont il s'agit maintenant, que dans la seule supposition qu'on mesure l'étendue des coupes dans la plus grande exactitude, comme je tâchai de le faire : au lieu que ce ne seroit peut-être plus la même chose, si on se faisoit une regle de ne les partager qu'en un certain nombre de parties, comme trois ou quatre, ainsi que le vouloit M. Hocquart d'après M. Coubard; & qu'on laissât au Jaugeur à décider si telle partie doit être traitée comme un segment de section conique, ou comme une autre figure qu'il ne connoîtra souvent pas mieux. De telles regles ne sont bonnes que lorsqu'elles sont entre les mains de gens éclairés, qui sçavent les accommoder aux circonstances particulieres, en voyant les changemens qu'il faut y faire. Dans l'usage ordinaire, on a besoin d'une méthode qui n'exige rien autre chose que d'être observée inviolablement par le Praticien grossier qui fait les fonctions de Géometre.

II.

Lorsque la question du Jaugeage fut traitée dans l'Académie des Sciences, il ne fut pas possible à M. Va-

rignon, livré, comme tout le monde ſçait, au pur Géométrique, de ſe borner à choiſir entre le grand nombre de pratiques recueillies de toutes parts par le Conſeil de Marine, leſquelles ne portoient pas pour lui le caractere d'une préciſion aſſez rigoureuſe. Il crut devoir imaginer une méthode nouvelle, qui eſt toute de lui, & qu'on peut voir dans le même volume de 1721. J'en fis auſſi des eſſais pour ſatisfaire à l'intention de l'Académie qui, retenue par ſa ſageſſe ordinaire, vouloit pour plus de ſûreté, que toutes les différentes pratiques qu'on propoſoit, fuſſent ſoumiſes à l'expérience, & appliquées actuellement à la figure même des vaiſſeaux. M. Varignon prétendoit obtenir la ſolidité de cette partie de la carene, qui eſt *l'expoſant* de la charge, en la conſidérant comme une tranche d'ellipſoïde formé ſur les principales dimenſions du navire. Il circonſcrivoit un éllipſoïde, ou plutôt un demi-ellipſoïde à la carene, & il prenoit enſuite pour la partie dont il vouloit avoir la ſolidité, la partie correſpondante de l'ellipſoïde, interceptée entre les mêmes plans horiſontaux. Il donna pour cela une formule qui ne pouvoit pas manquer d'être élegante, en partant de mains ſi habiles. Mais il arrivoit preſque toujours que les deux parties qu'il comparoît, ne ſe reſſembloient que très-peu, qu'elles étoient plus ou moins longues, & plus ou moins larges l'une que l'autre, & qu'elles avoient des ſolidités très-inégales; juſques-là que je trouvai dans les eſſais que j'en fis, une différence de plus d'une ſeptieme partie, dans un cas qui paroiſſoit néanmoins très-favorable: c'étoit en appliquant la méthode à une gabarre, qui approchoit plus de la figure de l'ellipſoïde que toute autre eſpece de bâtiment que je connoiſſe. Outre cela il étoit abſolument impoſſible de faire uſage de la même méthode pour les navires dont la poupe eſt terminée par un plan preſque vertical, lorſque ce plan entre dans l'eau, ou qu'il entame une partie même de la carene.

Toutes ces difficultés me firent penſer, qu'au lieu de former l'ellipſoïde ſur les principales dimenſions du na-

vire, il valoit beaucoup mieux l'accommoder à la ſeule figure de la partie de la carene qu'il s'agiſſoit de meſurer ; ſans ſe mettre en peine ſi le reſte du ſolide convenoit avec le reſte du vaiſſeau, dont il n'étoit pas alors queſtion. Qu'importoit-il, en effet, que tout l'ellipſoïde eût exactement la même longueur, la même largeur, & la même profondeur que le vaiſſeau, ſi la partie de la carene dont on vouloit découvrir la ſolidité, n'avoit que peu ou point de rapport avec la partie correſpondante de l'ellipſoïde qu'on meſuroit en ſa place ? Il falloit donc, ſans avoir égard à tout l'ellipſoïde, s'attacher ſeulement à conformer avec exactitude une partie ſur l'autre ; à modeler ſur la partie de la carene, la partie de l'ellipſoïde deſtinée à la repréſenter. Comme ce ne pouvoit être encore que par un extrême haſard que les coupes horiſontales de la carene fuſſent exactement des ellipſes, & égales aux coupes correſpondantes de l'ellipſoïde, puiſque cela n'avoit pas même lieu dans nos Gabares, il me parut qu'on ne pouvoit pas ſe diſpenſer de meſurer au moins l'étendue de la premiere & de la derniere ; c'eſt à-dire des deux qui interceptent la partie de la carene, & qu'on ne pouvoit emprunter tout au plus, de l'ellipſoïde, que la ſeule loi ou progreſſion qu'il y a entre l'étendue de ſes coupes. A l'aide de tous ces changemens, on devoit parvenir à déterminer le port des divers bâtimens dans la derniere préciſion : M. Varignon même eut la généroſité d'en convenir. Mais d'un autre côté la méthode devenoit beaucoup plus longue en perdant de ſa ſimplicité : il falloit, pour ainſi dire, payer par un plus long calcul ce qu'on gagnoit du côté de l'exactitude. La méthode ſe réduiſoit à cette autre formule $\frac{A \times \overline{2f^2 - fe - e^2} + B \times \overline{f^2 + fe - 2e^2}}{3f + 3e}$ qui exprime la ſolidité requiſe, pendant que A & B déſignent l'étendue des deux coupes horiſontales actuellement meſurées, faites à fleur d'eau, lorſque le navire eſt chargé, & lorſqu'il eſt vuide ; & que e & f marquent les quantités verticales dont ces mêmes coupes ſe trouvent au-deſſous de l'endroit le plus gros de la carene.

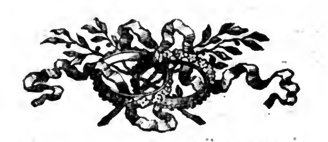
Pour voir l'origine de cette nouvelle regle, on n'a qu'à confiderer dans la Figure 53, l'ellipfoïde PQR, qui conformément à ce qu'on vient de dire, ne repréfente pas, comme le vouloit M. Varignon, la carene entiere du navire ABCD, mais dont la partie STXV, eft le plus égale qu'il eft poffible à la partie correfpondante EFGH, dont on veut avoir la folidité. Nous fuppofons qu'on a mefuré actuellement l'étendue A & B des deux coupes horifontales FE & GH qui interceptent cette partie: c'eft connoître déja l'étendue des coupes ST & VX de l'ellipfoïde qui font de même grandeur. On connoît auffi les diftances YO & ZO de ces dernieres coupes au centre O de l'ellipfoïde, qui font égales aux quantités $LI = e$, & $MI = f$, dont l'endroit I le plus gros du navire eft élevé au-deffus de la furface de l'eau, dans les deux différens états où l'on eft obligé de le confiderer. Cela fuppofé, je nomme p le demi-axe verticale OQ de l'ellipfoïde, ou de la fphere, (car c'eft la même chofe) dont les coupes font en même raifon que celle de la carene dans l'endroit qu'il s'agit de mefurer, & x les parties verticales de ce demi-axe OQ, à commencer du centre O. Ainfi x repréfente la quantité dont chaque coupe eft au-deffous du centre, & la différentielle dx repréfentera l'épaiffeur infiniment petite de chaque tranche, ou de chaque élément, dont on peut fuppofer que la tranche fenfible STXV eft formée. Il eft évident que puifque les coupes de la partie de la carene font en même raifon que les coupes correfpondantes de la fphere, dont $OQ = p$ eft le demi-axe, & que les cercles qui font les coupes de la fphere, font en même rapport que les quarrés de leur rayon, on pourra faire cette analogie; $\overline{OQ}^2 - \overline{OY}^2 = p^2 - e^2$ eft à l'étendue A de la coupe ST, ou FE, comme $\overline{OQ}^2 - \overline{OZ}^2 = p^2 - f^2$ eft à l'étendue B de la coupe VX, ou GH; ce qui donne l'équation $Bp^2 - Be^2 = Ap^2 - Af^2$, dans laquelle $p^2 = \frac{Af^2 - Be^2}{A - B}$. Ainfi on connoît déja le demi-axe vertical p de l'ellipfoïde ou de la fphere dont les coupes horifontales font pro-

portionnelles aux coupes correſpondantes de la carêne.

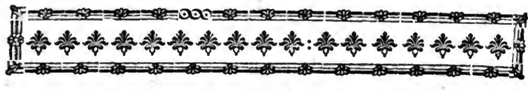
Par la même propriété de la ſphere, on a cette autre analogie $p^2 - e^2$ eſt à l'étendue A de la coupe ST, ou FE, comme $p^2 - x^2$ eſt à $\frac{Ap^2 - Ax^2}{p^2 - e^2}$, pour l'étendue de toutes les autres coupes : & ſi l'on multiplie cette étendue par la quantité infiniment petite dx, on aura $\frac{Ap^2 dx - Ax^2 dx}{p^2 - e^2}$ pour l'expreſſion des tranches infiniment peu épaiſſes qui ſervent d'élément à la carene. Je prends l'intégrale $\frac{Ap^2 x - \frac{1}{3}Ax^3}{p^2 - e^2}$ qui peut exprimer également la ſolidité de toutes les parties ſenſibles, qui répondent aux différentes parties x du demi-axe vertical. Mais il faut mettre ſucceſſivent $f = OZ = IM$, & $e = OY = IL$ à la place de x ; il viendra $\frac{Ap^2 f - \frac{1}{3}Af^3}{p^2 - e^2}$ & $\frac{Ap^2 e - \frac{1}{3}Ae^3}{p^2 - e^2}$, & ôtant l'une de l'autre, il reſtera pour la ſolidité de SX, ou de FH, $\frac{Ap^2 f - Ap^2 e - \frac{1}{3}Af^3 + \frac{1}{3}Ae^3}{p^2 - e^2}$; & ſi l'on ſubſtitue $\frac{Af^2 - Be^2}{A - B}$ à la place de p^2, on réduira cette expreſſion à $\frac{\frac{2}{3}Af^3 - Af^2 e + \frac{1}{3}Ae^3 + \frac{2}{3}Be^3 - Be^2 f + \frac{1}{3}Bf^3}{f^2 - e^2}$, &, par la diviſion, à $\frac{A \times 2\overline{f^2 - fe - e^2} + B \times \overline{f^2 + fe - 2e^2}}{3e + 3f}$, qui exprime donc en grandeurs entierement connues la ſolidité de la partie de la carene qui s'enfonce daus l'eau par la ſeule peſanteur de la charge. Dans le cas où le navire chargé enfoncera juſqu'au terme I de la plus grande largeur, il arrivera que IL, ou $OY = e$ ſera nulle, & alors la formule précédente ſe réduira à $\overline{2A + B} \times \frac{1}{3}f$, qui eſt beaucoup plus ſimple.

On voit aſſez que la méthode que fournit l'une & l'autre formule, ne peut pas manquer d'être exacte, & qu'elle doit même l'emporter ſur toutes les autres pratiques, auſſi-tôt qu'elles n'employent que le même nombre de meſures. Il eſt ſeulement fâcheux que le calcul dans lequel il eſt néceſſaire d'entrer, puiſſe paroître un peu long aux perſonnes qui ſe mêlent du jaugeage. Mais on peut ſe ſervir de cette nouvelle regle, lorſqu'on ſe propoſe une plus

grande précision, & employer la méthode du premier article dans tous les cas ordinaires. Je trouvai dans la gabare la *Mariane*, que l'étendue A de la coupe supérieure étoit de 265 pieds 22 pouces quarrés, que celle de la coupe inférieure B étoit de 129 pieds 95 pouces quarrés, & que les quantités *e* & *f* étoient de 1 pied 6 pouces & de 3 pieds 4 pouces. En appliquant la formule à ces quantités, il me vint 457 pieds 1196 pouces cubiques; ce qui ne differe presque pas de la vraye solidité 457 pieds 1725 pouces cubiques que j'obtins, en partageant en 60 prismes la partie de la carene qui faisoit la difference des deux enfoncemens.



SECONDE



SECONDE SECTION.

De la distribution de la pesanteur du Vaisseau, & de la position qu'on doit donner au centre dans lequel se réunit cette pesanteur.

CHAPITRE PREMIER.

Méthode de trouver le centre de gravité de la Carene, dans lequel se réunit la poussée verticale de l'eau.

NOUS n'avons peut-être que trop insisté & sur la pesanteur que doit avoir le navire, & sur les diverses forces qu'a la Mer pour le pousser verticalement en haut, selon que la partie submergée de la carene est plus ou moins grande. Nous devons maintenant examiner la distribution de cette pesanteur ; & avant toutes choses donner quelque moyen simple de déterminer le centre de gravité de la partie submergée, dans lequel nous sçavons que se réunit la poussée de l'eau. Les Géometres ne manquent pas de méthodes pour découvrir le centre de gravité des corps, de même que le centre d'effort de plusieurs puissances. Mais on a besoin ici d'une pratique générale, dont on puisse, malgré sa simplicité, se servir pour les corps de toutes sortes de figures : ce qui empêche d'avoir recours aux opérations absolument géometriques.

paralleles. Il en résulte que pour trouver le centre de gravité de plusieurs poids, il n'y a toujours qu'à chercher le moment particulier de chacun, ou le multiplier par sa distance au point fixe, & faire une somme de tous ces momens, que l'on divisera par la somme des poids, pour avoir la distance requise du centre de gravité commun au point fixe.

III.

Proposons-nous, pour commencer par une application plus simple du principe, de trouver le centre de gravité Γ de la surface AMGN (Fig. 51.); nommons x les parties variables AB, AC, &c. de son axe, & y ses largeurs ordonnées QR, OP, &c: nous aurons $\frac{Syxdx}{Sydx}$ pour l'expression de la distance ΓA. Car les petits rectangles élementaires compris entre deux ordonnées infiniment proche l'une de l'autre, seront exprimés par ydx, & leur somme, ou l'étendue entiere de la surface, par l'intégrale $Sydx$, pendant que $xydx$ exprimera les momens particuliers de ces mêmes élemens considerés comme de petits poids par rapport au point A, & $Sxzdx$ représentera leur somme totale, ou le moment total qu'il ne reste donc plus qu'à diviser par $Sydx$ somme des poids. Toute la difficulté que renferme cette recherche consiste, comm il est évident, à trouver les intégrales; mais si on veut en venir à bout sans peine, on n'a qu'à les chercher par la méthode expliquée dans le second Chapitre de la section précédente.

On a déja montré que pour découvrir l'étendue d'une surface AMGN, il n'y a qu'à partager sa longueur en plusieurs parties égales dans les points B, C, D, &c. & mesurer toutes les ordonnées ou les largeurs vis-à-vis de ces points; faisant ensuite une somme de toutes les largeurs intermédiaires & de la moitié des deux extrêmes, il ne reste plus qu'à multiplier cette somme par la distance d'une largeur à l'autre: on aura de cette sorte

Fig. 51. l'intégrale $Sydx$. Pour trouver de la même maniere l'intégrale $Syxdx$, on multipliera chaque ordonnée, ou largeur, par sa distance au point A; on fera une somme de tous ces produits, excepté du premier & du dernier dont on n'introduira dans la somme que la seule moitié, & multipliant cette somme par la distance d'une largeur à l'autre, on aura l'intégrale $Syxdx$, qu'il ne restera donc plus qu'à diviser par la premiere, pour avoir au quotient la distance du centre de gravité à l'extrémité de la surface.

La premiere intégrale, ou l'étendue de la surface, sera $AB \times \overline{\tfrac{1}{2}ST + QR + OP + \&c.}$ & la seconde, ou la somme des momens, sera $\overline{AB} \times \overline{AB \times QR + AC \times OP + AD \times MN + \&c.}$ qui se réduit à $\overline{AB}^2 \times \overline{R + 2OP + 3MN + 4KL + \&c.}$ Or si l'on divise cette seconde intégrale par la premiere, il viendra $AB \times \frac{QR + 2OP + 3MN + 4KL + \&c.}{\tfrac{1}{2}ST + QR + OP + \&c.}$ qui fournit cette regle très-simple, pour trouver le centre de gravité d'une surface plane quelconque, dont on a mesuré un certain nombre de largeurs à une égale distance les unes des autres. *C'est de faire une somme de la seconde largeur* QR, *du double de la troisieme* OP, *du triple de la quatrieme* MN, *& ainsi de suite jusqu'à la derniere, dont on ne prendra que la moitié du multiple. Cette somme étant trouvée, on la multipliera par la distance d'une largeur à l'autre, & enfin on divisera le produit par la somme de toutes les largeurs intermédiaires, & de la moitié des deux extrêmes. Le quotient marquera la distance du centre de gravité de la surface à son extrémité.*

Prenons pour exemple la surface dont nous avons parlé dans le Chapitre II. de la section précédente, & dont la longueur est de 120 pieds, & les sept largeurs vis-à-vis des points A, B, C, &c. de 18 pieds, de 23, 28, 30, 30, 21 & 0. En ajoutant la seconde largeur 23 avec le double de la troisieme 28, le triple de la quatrieme 30, &c. on aura 394, qui étant multiplié par 20, distance d'une largeur à l'autre, donne 7880 pour la valeur de $AB \times \overline{QR + 2OP + 3MN + \&c.}$ Après cela il ne reste plus

qu'à divifer cette quantité par $141 = \frac{1}{2}ST + QR + OP$, &c. & il viendra au quotient 55 pieds prefque 11 pouces pour la diftance requife du centre de gravité Γ au point A. Il n'eft fans doute pas poffible d'abréger davantage cette méthode : on en a donné une autre dans le traité de la mâture, qui fera ordinairement un peu plus exacte ; mais celle-ci l'eft toujours affez dans la pratique ; & outre cela elle eft beaucoup plus fimple.

IV.

Il n'y aura pas plus de difficulté à trouver le centre de gravité d'un folide ; le calcul fera fimplement plus long. Le folide étant partagé en plufieurs tranches de même épaiffeur par des plans paralleles, on cherchera le centre de gravité de chaque coupe, ou de chaque furface qui fépare les tranches, & on multipliera l'étendue de chaque coupe par la diftance de fon centre de gravité à une ligne qu'on prendra pour terme. Il n'y aura qu'à faire une fomme de tous ces produits, en n'employant cependant dans l'addition que la moitié du premier & du dernier ; il fuffira enfuite de divifer cette fomme par celle de l'étendue de toutes les furfaces intermédiaires, & de la moitié de la premiere & de la derniere, pour avoir au quotient la diftance du centre de gravité du folide entier à cette ligne qui fert de terme. Dans le vaiffeau de la figure 50, par exemple, rien n'empêche de trouver les centres de gravité particuliers T, S, R, &c. de toutes les coupes AD, OL, &c. de la même maniere, qu'on l'a trouvé de la furface AMGN (Fig. 51.) Or fi l'on multiplie l'étendue de chacune de ces coupes par la diftance de fon centre de gravité à l'étambot AB, & qu'on divife la fomme de la moitié du premier & du dernier produit, jointe aux autres produits entiers, par la fomme de l'étendue de toutes les coupes intermédiaires, & de la moitié de la premiere & de la derniere, on aura la diftance du centre de gravité de toute la carene ADCB à l'étambot.

Fig. 50.

Mais après avoir trouvé la fituation de ce centre par

rapport à la longueur du navire, il faut la chercher par rapport à la hauteur. Pour y réussir aisément, il n'y aura qu'à faire une somme de l'étendue de la seconde coupe IM, à commencer par en bas, du double de l'étendue de la troisieme KN, du triple de la quatrieme, &c. jusqu'à la derniere AD, dont on ne prendra le multiple que de la moitié; multipliant cette somme par la distance d'une coupe à l'autre, il ne restera plus qu'à en diviser le produit par la somme de toutes les coupes intermédiaires IM, KN, &c. & de la moitié des deux extrêmes CB & DA; on aura au quotient la hauteur du centre de gravité de la carene au-dessus de la quille. Il n'est pas nécessaire que nous nous arrêtions à expliquer la raison de cette pratique: on voit sans doute assez que nous considerons l'étendue de toutes les coupes comme les ordonnées de la surface AMGN de la Fig. 51, & que nous agissons précisément à l'égard de ces coupes comme nous avons operé à l'égard des ordonnées.

CHAPITRE II.

De la plus grande hauteur à laquelle on peut mettre le centre de gravité du vaisseau.

I

LE centre de gravité de la carene étant déterminé, on connoîtra le point dans lequel se réunit la poussée de l'eau, & d'où part la verticale sur la laquelle cette puissance agit. Le centre de gravité du vaisseau, comme nous l'avons montré dans la section précédente, se place toujours exactement dans la même verticale; sans cela la poussée de l'eau ne se trouveroit pas directement opposée à la pesanteur du navire, & ne pourroit pas la soutenir; ces deux forces ne se contrebalanceroient pas, ni ne

suspendroient jamais entierement l'action l'une de l'autre. Mais ce n'est pas encore assez pour que la situation du navire soit permanente : car les parties de l'eau, de même que celles de toutes les autres liqueurs, sont dans un mouvement continuel; & il arrive sans cesse que quelques-unes de ses parties choquent la carene plus d'un côté que de l'autre, ce qui suffiroit pour produire une inclinaison qui ne seroit d'abord, si on le veut, qu'insensible, mais qui ne manqueroit jamais d'augmenter comme d'elle-même, si le centre du navire étoit trop haut. Il n'y a personne qui n'ait éprouvé quelquefois quelque chose de semblable, en tâchant de faire floter de bout un morceau de bois, ou quelqu'autre corps leger, qui avoit beaucoup de longueur. Il s'agissoit d'abord de le placer verticalement, & de mettre son centre de gravité exactement au-dessus de celui de l'espace qu'il occupoit dans l'eau par son extrémité : mais quoiqu'on réussît peut-être à donner cette situation précise, la moindre cause extérieure suffisoit pour l'alterer; & aussi-tôt que le corps avoit commencé une fois à s'incliner, sa propre pesanteur d'un côté, & la poussée verticale de l'eau de l'autre, tendoient conjointement à le faire incliner davantage, & à le faire tomber.

II.

Il n'est que trop certain que la même chose doit arriver à un navire dont le centre de gravité est trop élevé. Supposons que OEC (Fig. 54.) représente la coupe d'un vaisseau faite perpendiculairement à sa longueur, que I soit son centre de gravité, & Γ celui de sa carene, ou de sa partie AEB qui est submergée, lorsqu'il est situé horisontalement; & que ΓZ, qui est en même tems verticale, soit la direction de la *poussée*. Si ce navire, en prenant une situation qui ne differe de la premiere que d'une quantité infiniment petite, & qui soit causée par le choc irrégulier de la moindre particule d'eau ou d'air, s'incline de maniere que *ab* se trouve exactement dans la surface de

Fig. 54.

Fig. 54. la mer; cette force avec laquelle l'eau agit de bas en haut, ne se réunira plus dans le centre de gravité Γ de la carene AEB, elle se réunira dans le centre de gravité γ de la partie *aEb* actuellement submergée; & comme la direction γz, qui sera alors verticale, au lieu de passer par le centre de gravité I, sera placée du côté opposé à l'inclinaison, il est clair que cette puissance, bien loin de travailler à rétablir la premiere situation, tendra au contraire à causer une plus grande inclinaison. Il n'est donc pas possible que le navire reste alors de niveau, puisqu'il n'est retenu dans cet état par aucune force, & qu'il suffit qu'une cause infiniment foible commence à l'en faire sortir, pour qu'il continue ensuite comme de lui-même à s'incliner. S'il est possible qu'il reste de niveau, c'est d'une possibilité purement métaphysique, à laquelle il manque quelquefois bien des choses, comme on le sçait, pour qu'on la voye réduite en acte: de même que l'expérience nous apprend qu'une aiguille ne se tient jamais debout sur sa pointe, quoique la chose soit possible, à parler géométriquement.

III.

Mais que le centre de gravité du vaisseau, au lieu d'être en I au-dessus de l'intersection *g* de ΓZ & γz, soit en G au-dessous de cette intersection; la poussée de l'eau sera alors toujours prête à rétablir la situation horisontale, en cas qu'elle soit alterée; parce que la direction sera toujours placée du côte de l'inclinaison par rapport au centre G. Il y aura donc alors une puissance qui maintiendra continuellement le navire dans son niveau, ou au moins qui ne manquera pas de l'y faire revenir, pour peu qu'il s'en écarte, & qui augmentera selon les besoins. Ainsi on voit combien il est important de connoître le point d'intersection *g*, qui en même tems qu'il sert de limite à la hauteur qu'on peut donner au centre de gravité G, distingue le cas où le navire conserve sa situation horisontale, de celui où il verseroit dans le Port même, sans pouvoir se

se soutenir un seul instant. Le point g, qu'on peut à juste titre nommer *métacentre*, est le terme que la hauteur du centre de gravité G ne doit pas passer, & ne doit pas même atteindre : car si le centre de gravité G étoit en g, le navire n'affecteroit pas plus la situation horisontale que l'inclinée ; les deux situations lui seroient également indifférentes : & il seroit par conséquent incapable de se relever, lorsque quelque cause étrangere l'auroit fait pancher.

IV.

Si la carene étoit un demi-sphéroïde, ou un segment de sphéroïde retranché par un plan parallele à l'axe, il ne seroit jamais difficile de trouver le point g, *le métacentre* ; puisqu'il seroit le centre des coupes du vaisseau faites perpendiculairement à sa longueur, lesquelles seroient exactement des cercles. Supposé que OEC (Fig. 55.) soit une de ces coupes, & que l'inclinaison soit portée assez loin pour que le segment aEb soit la partie submergée, la force qu'a l'eau pour soutenir les corps, & qui se réunira dans le centre de gravité γ de ce segment, agira selon la verticale γZ qui est un rayon du cercle OEC, & ce sera la même chose dans toutes les autres situations. Il n'importe par conséquent, dans ce cas particulier, comment le centre de gravité G du navire soit situé par rapport à la surface de l'eau ab, en dessus ou en dessous, pourvu que placé, comme il ne peut pas manquer de l'être, sur le rayon gE, il soit au-dessous du centre g du cercle qui forme la coupe OEC. Au reste, plus le centre de gravité G sera bas, plus il sera éloigné, en cas d'inclinaison, de la verticale γZ, sur laquelle s'exerce la poussée de l'eau, & plus cette poussée, quoique la même, sera ensuite placée avantageusement, ou appliquée à un bras de levier plus long, pour pouvoir rétablir la situation horisontale.

Fig. 55.

CHAPITRE III.

Méthode de déterminer le métacentre, ou le terme de la plus grande hauteur à laquelle on peut mettre le centre de gravité du vaisseau.

I.

Lorsque les coupes verticales de la carene faites perpendiculairement à la longueur du navire ne sont pas des cercles, il faut ordinairement se livrer à une assez longue discussion, pour pouvoir découvrir *le métacentre*, ce point au-dessous duquel il est nécessaire de mettre le centre de gravité du navire. Comme la question se réduit à déterminer la situation des directions ΓZ & $\gamma \zeta$ (Fig. 54.) sur lesquelles agit successivement la poussée de l'eau, il faut chercher d'abord combien les centres de gravité Γ & γ, d'où partent ces lignes, sont éloignés l'un de l'autre. Γ, comme nous l'avons déja assez dit, est le centre de gravité de la carene AEB, considérée comme homogène, & γ est celui de la partie qui est submergée, lorsque le navire est incliné. L'intervalle entre les deux centres ne doit être qu'un infiniment petit, puisqu'il ne s'agit d'abord que de la premiere, ou plus petite inclinaison du navire. La carene AEB & le solide aEb, ont une partie commune AFbE, dont le centre de gravité est en 3. Ainsi le petit intervalle $\Gamma\gamma$ qui se trouve entre les centres de gravité $\Gamma \gamma$, ne vient que des deux autres parties BFb & AFa, dont l'une sort de l'eau, pendant que l'autre y entre, & qui ont leur centre de gravité en 1 & en 2. Mais la carene AEB n'étant formée que de la partie commune AEbF, & de la petite partie BFb, son centre de gravité Γ doit être situé sur la ligne 3, 1 qui joint les centres de gravité 3 & 1 de AEbF & de BFb; & 1 Γ doit être à 3 Γ, comme

Fig. 54.

la partie commune AEbF est au petit solide BFb qui s'éleve de l'eau; puisque toutes les parties d'un corps sont en équilibre autour de son centre de gravité, & que l'équilibre ne consiste que dans cette proportion qui rend les momens égaux. Par la même raison, le centre de gravité γ du solide aEb, qui sert de carene pendant l'inclinaison du navire, doit être sur la ligne 3, 2, qui joint les centres de gravité 3 & 2 de AEbF, & de AFa qui se plonge dans l'eau, lorsque le navire s'incline. Mais comme les petits solides BFb & AEa sont de même solidité, & qu'ils le seroient également quand même ils ne seroient pas des corps semblables, puisque le navire occupe le même espace dans la mer avant & après son inclinaison, la partie commune AEbF doit avoir même rapport au solide BFb qu'au petit solide AFa; & il doit y avoir aussi même raison de 2γ à 3γ, que de 1Γ à 3Γ. C'est-à-dire que la petite ligne $\Gamma\gamma$, qui est la distance des centres de gravité γ & Γ, divise les deux lignes 3, 2 & 3, 1 proportionnellement; cette petite ligne est donc parallele à la surface de l'eau, ou à la distance 1, 2 des centres de gravité 1 & 2. Il est clair que ce sera encore la même chose si le navire continue à s'incliner; pourvu que la partie infiniment petite qui se plonge d'un côté, soit toujours égale à celle qui s'éleve de l'autre.

Fig. 54

II.

De ce que la partie commune AEbF est au petit solide BFb, comme 1Γ est à 3Γ, il suit aussi que la carene entiere AEB est au petit solide BFb, comme 3, 1 est à 3Γ; on aura donc encore cette proportion, la carene entiere AEB est au petit solide BFb, comme 1, 2 est à $\Gamma\gamma$. Ainsi on pourra trouver la distance $\Gamma\gamma$ des centres de gravité Γ & γ, aussi-tôt qu'on connoîtra la solidité de la carene AEB, la solidité de la petite partie BFb, & la distance 1, 2 des centres de gravité 1 & 2 des petites parties BFb & AFa; puisque ce sont là les trois premiers termes d'une proportion dont la distance $\Gamma\gamma$ est le quatrieme.

III.

Fig. 54. Comme la figure du vaisseau est donnée, on connoît sa coupe horisontale faite à fleur d'eau. Je nomme x les parties de l'axe de cette coupe, ou les parties de la longueur du navire, & y les demi-largeurs ou ordonnées: FB est la plus grande de ces demi-largeurs; je la nomme b; & je désigne par e la quantité verticale & infiniment petite HB, dont le point B s'éleve de l'eau, lorsque le navire s'incline de l'autre côté. Je considere après cela que le petit solide BFb qui sort de l'eau, & dont BFb n'est qu'une coupe, est formé d'une infinité de petits triangles verticaux, qui étant arrangés tout le long de la longueur du navire à la distance infiniment petite dx les uns des autres, sont paralleles aux triangles BFb, & lui sont semblables. Ces petits triangles ont les demi-largeurs y pour bases, & on trouvera leur petite hauteur par cette proportion, $FB = b \mid BH = e \parallel y \mid \frac{e}{b}y$; de sorte que $\frac{e}{2b}y^2$, produit de y par $\frac{e}{2b}y$, sera l'étendue de ces petits triangles. Je multiplie cette étendue par l'épaisseur infiniment petite dx, il vient $\frac{e}{2b}y^2dx$ pour la solidité depetits triangles, ou plutôt des petits prismes triangulaires, dont le petit solide BFb est formé; & en intégrant, on trouve $S\frac{e}{2b}y^2dx$, ou $\frac{e}{2b}Sy^2dx$ pour la grandeur de ce petit solide qui sort de l'eau par l'inclinaison du navire; c'est là une des choses qu'on cherchoit.

Après cela je multiplie l'élement $\frac{e}{2b}y^2dx$ par $\frac{2}{3}y$; parce que le centre de gravité de chaque petit triangle répond aux $\frac{2}{3}$ de la base, ou de la demi-largeur y; & j'ai $\frac{e}{3b}y^3dx$ pour le moment de chaque petit prisme élementaire par rapport au point F, ou par rapport à l'axe de la coupe du navire faite à fleur d'eau. L'intégrale $\frac{e}{3b}Sy^3dx$

ſera donc le moment du petit ſolide entier BFb. Ainſi il ne reſte plus qu'à diviſer ce moment total par la ſomme de tous les petits priſmes triangulaires, ou par le petit ſolide entier BFb ; le quotient $\frac{2Sy^3dx}{3Sy^2dx}$ marquera, ſelon le principe général de Statique, la diſtance F 1 du point F au centre de gravité 1 de ce ſolide BFb. On trouveroit de la même maniere la diſtance F 2, ſi la carene étoit un corps irrégulier ; mais comme les deux flancs de nos navires ſont toujours égaux, on n'a qu'à doubler F 1, & on aura $\frac{4Sy^3dx}{3Sy^2dx}$ pour la diſtance 1, 2 des centres de gravité 1 & 2 des deux ſolides BFb, & AFa.

Fig. 54.

IV.

Maintenant qu'on connoît la ſolidité $\frac{e}{2b}Sy^2dx$ de la petite partie BFb, & la diſtance $\frac{4Sy^3dx}{3Sy^2dx}$ des centres de gravité 1 & 2, il ne manque plus que de connoître la ſolidité de la carene, pour pouvoir faire l'analogie indiquée à la fin de l'article II ; la carene AEB eſt à la petite partie BFb, comme 1, 2 eſt à $\Gamma\gamma$. On trouvera toujours aiſément, par les moyens expliqués ci-devant, ou par les autres méthodes que fournit la Géométrie, cette ſolidité ; & ſuppoſé que p la déſigne, on aura donc $p \mid \frac{e}{2b} Sy^2dx \parallel \frac{4Sy^3dx}{3Sy^2dx} \mid \frac{2eSy^3dx}{3bq}$; ce qui montre que le centre de gravité γ de la partie aEb, qui ſert de carene pendant l'inclinaiſon du navire, eſt éloignée du centre de gravité Γ de la carene AEb de la diſtance $\frac{2eSy^3dx}{2bp}$. Enfin ſi l'on fait attention que le petit triangle $\Gamma g\gamma$, qui eſt formé par la diſtance $\Gamma\gamma$ des centres de gravité Γ & γ, & par les lignes ΓZ & $\gamma\zeta$, leſquelles ſervent de direction à la pouſſée de l'eau dans les deux ſituations du navire, eſt ſemblable au petit triangle BFH, à cauſe que les trois côtés de l'un ſont perpendiculaires aux trois côtés de l'autre, on aura cette der-

Fig. 54. niere proportion ; HB $= e$ | FB $= b$ || $\Gamma\gamma = \frac{2cSy^3dx}{3bp}$ | Γg. On en déduira cette formule, $\Gamma g = \frac{2Sy^3dx}{3p}$, qui apprend la plus grande hauteur Γg que peut avoir le centre de gravité du navire au-dessus du centre de gravité Γ de sa carene.

Nous ne comptons pas comme une difficulté, dans l'usage qu'on peut faire de cette formule, la nécessité où l'on est de trouver la valeur de l'intrégale Sy^3dx. Si l'on suppose que la tranche horisontale du navire faite à fleur d'eau, ait 100 pieds de long, & que ses demi-largeurs mesurées à 12 $\frac{1}{2}$ pieds de distance les unes des autres, soient, en commençant par l'extrémité de la proue, de 1 pied, de 9, de 12, de 13 $\frac{1}{2}$, de 13 $\frac{1}{2}$, de 12^1, de 11 $\frac{1}{2}$, de 9 $\frac{1}{2}$, & de 7 $\frac{1}{2}$, on trouvera aisément, par la méthode expliquée dans le second Chapitre de la Section précédente, l'intégrale Sy^3dx: car on aura 1, 729, 1728, 2460 $\frac{3}{8}$, 2460 $\frac{3}{8}$, 1953 $\frac{1}{8}$, 1520 $\frac{7}{8}$, 857 $\frac{7}{8}$, & 421 $\frac{7}{8}$ pour les neuf cubes y^3; & si on ajoute ensemble tous ces nombres, mais en ne faisant entrer dans l'addition que la seule moitié du premier & du dernier, & qu'on multiplie la somme par 12 $\frac{1}{2}$ qui est la distance d'une largeur à l'autre, il viendra 149006. Après cela il ne restera plus qu'à diviser les $\frac{2}{3}$ de ce nombre par la solidité p de la carene, pour avoir la hauteur Γg. Si cette solidité (qu'on peut toujours trouver aisément, ou par les méthodes précises que fournit la Géométrie, ou par les moyens méchaniques que nous avons donnés dans la section précédente) est égale à celle d'un ellipsoïde de même longueur, de même largeur & de même profondeur, & que sa profondeur soit de 12 pieds; cette solidité sera de 16971 pieds cubiques, & on aura par conséquent 5 $\frac{85}{100}$ pieds pour la hauteur du métacentre g au-dessus du centre de gravité Γ de la carene. Supposé de plus que ce dernier centre soit plongé dans l'eau de 4 $\frac{1}{2}$ pieds, ou des $\frac{3}{8}$ de la profondeur, comme cela se trouve dans l'ellipsoïde, le point g, qui est le terme ou

la limite de la plus grande hauteur du centre de gravité du navire, sera élevé d'environ 1 pied 4 pouces au-dessus de la surface de la mer.

V

On pourra appliquer notre regle avec la même facilité à tous les vaisseaux : mais on viendra à bout de la rendre plus simple, jusques-là qu'on pourra l'employer souvent sans calcul, lorsque toutes les coupes verticales de la carene, faites parallelement à AEB, seront des figures semblables. Si dans ce cas particulier, K est le centre de gravité de la coupe AEB, centre qu'il faut ici bien distinguer de celui Γ de la carene entiere, puisque ce dernier résulte de la disposition ou de l'assemblage de tous les autres : notre formule se changera en $\Gamma g = \frac{2F\Gamma \times \overline{FB}^3}{3FK \times AEB}$, ou se réduira à cette simple analogie ; le produit de la coupe AEB par la quantité FK, dont son centre de gravité K est plongé dans l'eau, est au $\frac{2}{3}$ du cube $\overline{FB}^3$ de la demi-largeur FB, comme la quantité FΓ, dont le centre de gravité de la carene est enfoncé dans l'eau, est à la hauteur Γ*g* du métacentre *g* au-dessus de ce dernier centre.

Fig. 57.

Les Lecteurs un peu versés dans la Statique, doivent voir déja l'origine de ce théoreme, ou de cette seconde regle, dans la conformité qu'il y a entre l'expression $\frac{2Sy^3dx}{3p}$ de Γ*g*, & celle qu'on sçait qu'a FΓ, qui ne doit être, dans la circonstance présente, que $\frac{Sy^3dx}{p}$ affectée de quelques constantes. En effet, on peut trouver l'étendue de toutes les coupes de la carene qui sont paralleles à AEB par cette analogie ; le quarré $\overline{FB}^2$ de la demi-largeur FB est à l'étendue de la coupe AEB, comme le quarré y^2 de toutes les autres demi-largeurs est à l'étendue $\frac{AEB}{\overline{FB}^2} \times y^2$ des coupes correspondantes. Et si après

Fig 54. avoir multiplié cette étendue par l'épaiſſeur infiniment petite dx, qui eſt la diſtance d'une coupe à l'autre, pour avoir l'élement $\frac{AEB}{\overline{FB}^2} y^2 dx$, on fait cette autre analogie, fondée encore ſur la reſſemblance des coupes ; comme la demi-largeur FB eſt à FK, ainſi la demi-largeur y des autres coupes eſt à la quantité $\frac{FK}{EB} \times y$, dont leur centre de gravité eſt au-deſſous de la ſurface de l'eau ; & qu'on multiplie l'élement $\frac{AEB}{\overline{FB}^2} \times y^2 dx$ par cette quantité $\frac{FK}{FB} \times y$, on aura $\frac{FK \times AEB}{\overline{FB}^3} \times y^3 dx$ pour le moment de chaque élement par rapport à la ſurface de l'eau, & l'intégrale $\frac{FK \times AEB}{\overline{FB}^3} Sy^3 dx$ ſera le moment de toute la carene. Il faut enſuite, ſelon le principe de la Statique, diviſer ce moment par la ſolidité p, & le quotient $\frac{FK \times AEB \times Sy^3 dx}{\overline{FB}^3 \times p}$ marquera la quantité $F\Gamma$, dont le centre de gravité Γ de la carene eſt enfoncé dans l'eau. Mais on voit, en comparant cette valeur avec celle de $\frac{2Sy^3 dx}{3p}$ de Γg, découverte ci-devant, qu'elles ſont l'une à l'autre comme $\frac{FK \times AEB}{\overline{FB}^3}$ eſt à $\frac{2}{3}$, ou comme $FK \times AEB$ eſt à $\frac{2}{3} \times \overline{FB}^3$; & qu'ainſi on peut faire la proportion mentionnée ci-devant, $FK \times AEB \,|\, \frac{2}{3} \times \overline{FB}^3 \,\|\, F\Gamma \,|\, \Gamma g$. De cette proportion on en déduit l'équation, ou la formule $\Gamma g = \frac{\frac{2}{3} \times F\Gamma \times \overline{EB}^3}{FK \times AEB}$ dont on peut retrancher, ſi on le veut, $E\Gamma$; & il viendra $Fg = \frac{\frac{2}{3} F\Gamma \times \overline{FB}^3 - F\Gamma \times FK \times AEB}{FK \times AEB}$ qui exprime la plus grande hauteur que peut avoir le centre de gravité du navire au-deſſus de la ſurface de l'eau.

CHAP.

CHAPITRE IV.

Application des formules précédentes à quelques figures, & premierement au navire formé en parallelipipede rectangle.

I.

AFIN de ne pas laiſſer ce que nous venons de dire, ſans quelque application, propoſons-nous d'abord la figure la plus ſimple de toutes ; propoſons-nous un bâtiment formé en parallelipipede rectangle, comme l'Arche de Noé, ou comme les deux navires que fit bâtir au commencement de l'autre ſiecle Pierre Janſſe de Horne, leſquels étoient peu différens des vaiſſeaux Chinois. Toutes les coupes verticales de la carene feront non-ſeulement ſemblables, mais égales; ce qui ſera cauſe que les centres K & Γ ſeront exactement les mêmes. D'un autre côté l'étendue de la coupe AEB (Fig. 56.) ſera le produit de la largeur AB par ſa hauteur FE; introduiſant ce produit à la place de AEB, & $\frac{1}{2}$ FE à la place de FΓ, dans la formule $\Gamma g = \frac{\frac{2}{3}\overline{FB}^3}{FK \times AEB}$, on la changera en $\Gamma g = \frac{\frac{2}{3}\overline{FB}^3}{\frac{1}{2}FE \times AB \times FE} = \frac{\overline{FB}^2}{3\,FE}$. Fig. 56.

Ainſi pour trouver dans un pareil navire la plus grande hauteur Γ*g* à laquelle on peut mettre ſon centre de gravité au-deſſus du centre de gravité, ou du milieu Γ, de la carene; il n'y a qu'à faire cette ſimple analogie, *le triple de la profondeur* FE *de la partie ſubmergée eſt à ſa demi-largeur* FB, *comme cette même demi-largeur eſt à la hauteur requiſe* Γ*g*. S'il s'agiſſoit en particulier de l'Arche de Noé, dont la largeur étoit de 50 coudées, & qu'on ſuppoſât que ce bâtiment enfonçoit dans les eaux du déluge de 10 coudées, on trouvera que le métacentre *g* étoit élevé de 20 $\frac{5}{6}$ coudées au-deſſus du centre de gravité de la carene,

& par conféquent de $15\frac{1}{6}$ au-deffus de la furface de la mer, & de $25\frac{1}{6}$ au-deffus du fond de la cale. Il étoit difficile, ou plutôt il n'étoit pas poffible que le centre de gravité fe trouvât porté à une fi grande élevation ; puifque toute l'Arche n'avoit que 30 coudées de hauteur. Ainfi l'inclinaifon de ce bâtiment ne pouvoit jamais devenir trop grande ; il n'y avoit rien à craindre de ce côté pour les précieux reftes du genre humain.

II.

Déterminer le métacentre, lorfque toutes les coupes de la carene faites perpendiculairement à fa longueur, font des triangles.

Fig. 54. Si les coupes AEB de la carene (Fig. 54.), au lieu d'être des rectangles, font de fimples triangles, comme nous croyons qu'il feroit avantageux qu'elles le fuffent dans les corvettes, il fera tout auffi facile de déterminer le métacentre. Ne confiderons, pour plus de fimplicité, qu'un feul triangle, & fuppofons qu'il eft rectangle en E, ou que fa bafe AB qui fe trouve dans la furface de l'eau, eft double de fa hauteur FE ; fon étendue AEB fera égale au quarré de AF, ou de FB, & les centres K & Γ concoureront dans le même point, & fe trouveront au tiers de FE. Ainfi la formule $\Gamma g = \frac{2}{3} \times \frac{F\Gamma \times \overline{FB}^2}{FK \times AEB}$ fe changera en $\Gamma g = \frac{2}{3} \times \frac{FB^3}{FB^2} = \frac{2}{3} FB$, ce qui nous apprend cette propriété finguliere du triangle rectangle, *que fon métacentre eft autant au-deffus de la furface de l'eau que fon centre de gravité eft au-deffous.*

Si nous confiderons donc maintenant une carene faite en conoïde, ou en fphéroïde triangulaire, formé de triangles rectangles verticaux, arrangés tout le long de fon axe fuppofé horifontal, nous aurons autant de métacentres que de triangles, & tous ces points formeront une ligne courbe qui fera fituée précifément de la même maniere,

par rapport à la ſurface de l'eau, mais en deſſus, que le ſera en deſſous la ligne courbe que forment tous les centres de gravité des triangles. Mais de même que de tous les centres de gravité il s'en forme un qui eſt le centre de gravité commun, tous les métacentres doivent auſſi ſe réduire à un ſeul qui ſera le métacentre commun, & qui doit être encore placé au-deſſus de l'eau, comme l'autre point l'eſt au-deſſous. Ainſi on voit cette vérité, qui peut devenir très-importante, que, *lorſque toutes les coupes de la carene faites perpendiculairement à ſa longueur, ſont des triangles rectangles qui ont leur angle droit en bas, le métacentre eſt élevé au-deſſus de la ſurface de l'eau, préciſément de la même quantité dont le centre de gravité de la carene, ſuppoſée homogene, eſt plongé au-deſſous de la même ſurface.* Si tous les triangles donnent à la proue & à la poupe une figure exactement piramidale, ou que toute la carene ſoit elle-même une piramide quadrangulaire, dont le ſommet eſt en bas, le métacentre, dans ce cas particulier, ſera donc élevé au-deſſus de la ſurface de la mer d'une quantité égale au quart de la profondeur de la carene, ou de la huitieme partie de ſa plus grande largeur.

III.

Trouver la métacentre, lorſque le navire eſt un ellipſoïde.

Nous prendrons pour troiſieme exemple, un navire dont toutes les coupes verticales de la carene, faites perpendiculairement à ſa longueur, ſont des ellipſes ſemblables, ou dont le corps entier de la carene eſt un ellipſoïde. On pourra ſouvent attribuer cette figure aux vaiſſeaux, quoiqu'on ne le puiſſe pas faire également lorſqu'il s'agit de la viteſſe de leur ſillage, ou de quelqu'autre proprieté de leur mouvement, qui tient à des circonſtances plus délicates. On doit cette différence à la relation étroite qu'il y a entre la recherche préſente, & la détermination des centres de gravité. On ſait que ces ſortes de centres ne reçoi-

vent que très-peu de changement, quoiqu'on change aſſez conſidérablement les figures auſquelles ils appartiennent.

Si on prend r & q pour exprimer le rapport du rayon du cercle au quart de ſa circonférence, & qu'on cherche l'étendue AEB (Fig. 54.) par rapport au rectangle de AB par EF, & les quantités FK & FΓ par rapport à FE, on aura $AEB = \frac{q}{2r} AB \times FE = \frac{q}{r} FB \times EF$; $FK = \frac{2r}{3q} FE$, & $F\Gamma = \frac{3}{8} FE$; introduiſant ces valeurs dans la formule $Fg = \frac{\frac{2}{3} F\Gamma \times \overline{FB}^3 - F\Gamma \times FK \times AFB}{FK \times AEB}$, on la changera en cette autre $Fg = \frac{3}{8} \times \frac{\overline{FB}^2 - \overline{FE}^2}{FE}$, qui eſt, comme on le voit, extrêmement ſimple.

Fig. 54.

Il ne ſera donc pas difficile, lorſque la carene ſera un ellipſoïde, de déterminer le *métacentre g*, au-deſſous duquel la ſûreté de la navigation exige que le centre de gravité du vaiſſeau ſoit toujours. *Après avoir pris les trois huitiemes de l'excès du quarré de* FB, *demi-largeur de la carene, ſur le quarré* $\overline{FE}^2$ *de la profondeur, il n'y aura qu'à le diviſer par la profondeur même, & il viendra au quotient la quantité* Fg, *dont le point* g *ſera au-deſſus de la ſurface de l'eau.* Ce point ſera au-deſſus de la ſurface de la mer, lorſque Fg ſera poſitive; ce qui arrivera, quand FB ſera plus grande que FE, ou lorſque la largeur de la carene ſera plus grande que le double de la profondeur. Le point g ſera au-deſſous de la ſurface de l'eau, lorſque Fg ſera négative, ou lorſque la demi-largeur FB ſera moindre que la profondeur FE. Enfin, le point g ſera dans la ſurface même de l'eau, quand Fg ſera nulle; ce qui arrivera, lorſque la demi-largeur de la carene ſera exactement égale à la profondeur, ou lorſque la coupe AEB ſera un demi-cercle; & c'eſt ce qui eſt conforme à ce que nous ſavions déja.

CHAPITRE V.

Recherches plus étendues ſur les métacentres, & ſur la ligne courbe que forment ces points, lorſque le navire s'incline.

MAIS quoique les recherches précédentes ſoient utiles, nous ne devons pas diſſimuler qu'elles ne ſuffiſent pas encore pour nous raſſurer entierement ſur nôtre état; parce que la ſolution que nous avons donnée eſt limitée au cas trop particulier dans lequel le navire n'eſt exposé, tout au plus, qu'au choc irrégulier de quelques molecules d'eau, ou d'air. S'il étoit ſujet à l'action d'une puiſſance un peu conſidérable, il ſe pancheroit d'une quantité finie, & il pourroit arriver que la direction γz (Fig 54.) paſſât enſuite au-deſſous du point g, qui n'a été déterminé que dans le cas de l'inclinaiſon infiniment petite. Si après cela γz paſſoit auſſi au-deſſous du centre de gravité G, il eſt clair que la pouſſée verticale de l'eau travailleroit à faire incliner le navire, & qu'il verſeroit infailliblement. On n'a que trop ſouvent des exemples de ce dangereux accident. Certains navires conſervent bien leur ſituation horiſontale, tant qu'il ſont dans le port: mais auſſi-tôt que quelque puiſſance un peu forte, comme l'impulſion du vent ſur les voiles, les fait pancher d'une quantité un peu grande, ils ne ſe relevent que très-difficilement; & ce qui eſt le comble du malheur, puiſqu'il faut périr, ils continuent quelquefois à s'incliner, quoique la cauſe qui a fait commencer leur inclinaiſon, ceſſe d'agir. Ainſi il eſt abſolument néceſſaire, pour une parfaite ſûreté de la naviga tion, d'examiner ſi le métacentre ne deſcend pas, à meſure que le navire perd ſa ſituation horiſontale.

Fig. 54.

On a prouvé à la fin du premier article du Chapitre III.

Fig. 54. que le navire ne peut pas s'incliner sans que le centre de gravité de la partie submergée change de place, en avançant vers le côté de l'inclinaison, & que la petite distance des deux centres de gravité est parallele à la surface de l'eau. La démonstration qu'on a donnée est générale, & convient aussi-bien au cas où la carene est un corps irrégulier des deux côtés que lorsqu'elle a une figure réguliere. Il suit de-là que les centres de gravité de toutes les différentes parties submergées, lorsque le navire est en différentes situations, sont sur une ligne courbe ΓH (Fig. 57 & 58.) dont chaque petite partie est parallele à la surface de l'eau dans chaque situation. C'est-à-dire que lorsque le navire est de niveau, & que AEB est la partie submergée, le centre de gravité de cette partie est en Γ, & la petite partie Γγ de la courbe ΓH, est parallele à la surface AB de l'eau, comme on l'a démontré. Mais si le navire, en s'inclinant de plus en plus, se plaçoit de sorte que *AB* se trouvât horisontale & dans la surface de l'eau, le centre de gravité Γ, après avoir passé par tous les points de la courbe ΓH, & avoir toujours avancé parallelement à la surface de l'eau dans chaque situation, se trouveroit en H, & la petite partie de la courbe qui est en cet endroit, seroit encore parallele à *AB*. Ainsi lorsque la poussée verticale de l'eau se réunit dans le centre de gravité H de la partie submergée *A*E*B*, & qu'elle s'exerce selon une ligne exactement verticale HP; cette direction HP, qui est perpendiculaire à la surface *AB* de l'eau, le doit être aussi à la courbe ΓH au point H. C'est la même chose dans toutes les autres situations; de sorte que c'est un théoreme général que *la poussée de l'eau agit toujours selon les perpendiculaires à la courbe qui est le lieu géométrique des centres de gravité dans lesquels elle se réunit.* Il est clair aussi que toutes ces directions doivent former en haut par leur concours une autre courbe NgM, qu'on peut nommer *métacentrique*, dont nous ne connoissons encore que le point *g*, & qui est la dévelopée de la courbe ΓH.

Ainsi si on se proposoit un certain vaisseau O E C (Fig. 56, 57 & 58.) & qu'on voulût savoir si on y sera en sûreté ; après avoir mis son centre de gravité au-dessous du point *g*, déterminé par la Méthode du Chapitre III, il faudroit chercher d'abord toutes les parties comme *AEB*, qui sont égales en solidité à la carene AEB. Dans la supposition que la carene fût un parallelipipede rectangle, comme dans la Figure 56, & pourvû que ses angles inférieurs ne sortissent pas de l'eau par la grandeur de l'inclinaison, les lignes droites A B, *A B*, &c. qui retranchent les parties submergées AEB, *AEB*, &c. de même solidité, passeroient toutes par le même point F : au lieu que si les deux flancs O E & C E, étoient des lignes droites qui formassent un angle en E au fond de la carene, les droites *AB*, AB, &c. qui retranchent des segmens de même étendue, seroient tangentes à une hyperbole qui auroit les deux droites O E & C E pour asymptotes ; & le point d'atouchement seroit au milieu de ces lignes *AB*, AB ; parce qu'il est toujours dans le centre de gravité des lignes droites, ou des plans qui retranchent les segmens de même étendue, ou de même solidité.

Fig. 56, 57 & 58.

On chercheroit ensuite *le lieu* Γγ H des centres de gravité de tous ces segmens, ou parties égales *AEB*, AEB, &c. ce qu'on pourroit faire en cherchant la distance de ces centres à la ligne EZ, & à une autre ligne perpendiculaire. Lorsque les flancs OE & CE seront des lignes droites, & que la courbure F*F* qui touche continuellement la surface de l'eau, sera une hyperbole, la courbe ΓγH sur laquelle se trouvent tous les centres de gravité Γ, γ, H, &c. sera aussi une hyperbole. Pour le dire plus généralement, (car les flancs de la carene en lignes droites, n'ont cette propriété que parce qu'ils forment un angle qu'on peut regarder comme une hyperbole, dont l'axe déterminé est infiniment petit) toutes les fois que OEC sera une section conique, F*F* en sera aussi une asymptotique de la premiere, & la courbe Γγ H en sera encore

une aſymptotique des deux autres. Or la queſtion ſera réduite après cela à la géométrie pure ; puiſqu'il ne s'agira que de chercher la ſituation des perpendiculaires à la courbe ΓH, & de découvrir les ſymptomes de ſa développée, la *métacentrique* NgM, dont on connoît déja le point *g* ; de ſçavoir ſi cette développée monte ou deſcend, & de découvrir tous les points où elle coupe l'axe.

Nous n'inſiſtons pas ſur le cas trop ſimple dans lequel la coupe OEC eſt un cercle ; il eſt évident que *le lieu* des centres de gravité Γ, γ, eſt alors un cercle concentrique, & que la *métacentrique* ſe réduit à un ſeul point *g*. Mais le problême ſe trouve déja réſolu dans le peu qu'on vient de dire pour toutes les figures dont il a été queſtion. Si les deux flancs OE & CE de la carene ſont des lignes droites qui forment un angle en E, ou plus généralement, ſi les deux flancs ſont formés par une hyperbole dont E eſt le ſommet, les centres de gravité de toutes les parties ſubmergées formeront une hyperbole, & ſur ce qu'on ſait de la développée de cette courbe, on peut aſſurer que la pouſſée de l'eau s'exercera ſur des directions qui couperont l'axe EZ dans des points toujours plus élevés ; & qu'ainſi cette puiſſance acquerera de plus en plus une plus grande force relative pour s'oppoſer à l'inclinaiſon, ou pour relever le navire. La même choſe arrivera lorſque la carene aura la forme d'un parallelipipede rectangle, comme l'arche de Noé. Car il eſt facile de s'aſſurer que *le lieu* des centres de gravité des parties ſubmergées, eſt une parabole, dont on ſçait que la développée va toujours en s'éloignant de l'axe & du ſommet. Si la carene eſt un ellipſoïde, & que la coupe AEB, faite perpendiculairement à ſa longueur, ſoit un ellipſe, dont le grand axe ſoit vertical, tous les centres de gravité des parties ſubmergées ſeront auſſi ſur une ellipſe, dont la développé ſera encore diſpoſée de la façon convenable. Mais comme le premier point *g*, qui ſervira d'origine aux deux branches de la développée, ou de la *métacentrique*, ſeroit ſouvent trop bas, on pourroit, au lieu de donner

donner à la coupe AEB la forme d'une demi-ellipse, lui donner la figure d'un segment plus petit que la moitié. On feroit obligé de s'engager pour la plûpart des autres figures, dans des discussions longues & difficiles: mais on peut se contenter presque toujours d'examiner la chose généralement. Fig. 57.

La méthode que nous avons expliquée dans le chapitre III. pour trouver la hauteur du métacentre au-dessus du centre de gravité de la partie submergée de la carene, est d'ailleurs applicable dans tous les cas. Il n'y a toujours qu'à considérer le plan de la flotaison, ou de la tranche du navire faite à fleur d'eau, lorsque le navire est incliné: l'axe, ou le plus grand diametre de ce plan, ne le partagera plus par la moitié, vu son irrégularité; mais il faudra faire passer cet axe par le centre de gravité F du plan, afin que les deux petits solides, celui qui entre dans l'eau & celui qui en sort, & qui sont représentés par aFA & BFb, soient toujours égaux; & que la solidité de la partie submergée de la carene soit exactement la même, lorsque le navire est incliné & lorsqu'il l'est un peu plus. Si on désigne après cela par deux différentes lettres y & v, toutes les lignes AF & BF, qui sont comme les demi-largeurs de la carene des deux côtés de l'axe, les deux quantités désignées par Sy^3dx, ne seront plus égales; pendant que cette expression sera bonne pour un des côtés de l'axe, on aura Sv^3dx pour l'autre: & si on fait le calcul tout au long, au lieu de $\Gamma g = \frac{2Sy^3dx}{3p}$, on trouvera $\Gamma g = \frac{Sdx \times \overline{y^3 + v^3}}{3p}$; formule dans laquelle dx marque toujours les parties infiniment petites de la longueur du navire, & p la solidité de sa partie submergée entiere.

Enfin, il résulte principalement des réflexions précédentes, que tant qu'on ne travaillera pas à procurer aux navires une situation constamment horisontale, en disposant leur mâture selon les regles que nous en avons données ailleurs, & que nous donnerons encore d'une maniere succinte dans le Livre suivant; il ne suffit pas, com-

Fig. 57. me on le fait maintenant dans la Marine, de mettre l'endroit le plus gros du navire à fleur d'eau, ou très-peu au-dessus : mais qu'on doit faire ensorte que la carene augmente de largeur, ou qu'elle conserve au moins la même jusqu'à l'endroit où elle enfonce dans l'eau, lorsque le navire s'incline le plus. L'inclinaison peut aller jusqu'à 10 ou 12 degrés, & même plus loin dans les petits navires, lorsque le vent charge les voiles avec force. Nous souhaiterions donc que la partie *A*A des flancs du vaisseau, qui est alors sujette à entrer dans la mer, & qui est de 4 ou 5 pieds dans les vaisseaux du premier rang, & de 3 ou 4 dans les navires de deux à trois cens tonneaux, ou fût presque droite, ou qu'elle eût quelque saillie en dehors; & que ce ne fut qu'au-dessus du point *A* que le flanc commençât à rentrer en-dedans, & le navire à se retrecir. Par ce moyen la courbe ΓH deviendroit à-peu-près une hyperbole, ou au moins une parabole vers les deux extrémités, & les branches *g*N, *g*M de la métacentrique N*g*M qui en seroit la développée, iroient en montant au-dessus du métacentre *g*. Toutes les fois que l'inclinaison augmenteroit, le centre de gravité du vaisseau s'ecarteroit ensuite de la direction HP de la poussée de l'eau, pendant que cette direction s'éloigneroit en son particulier de ce centre par son progrès vers le côté de l'inclinaison; tout contribueroit donc à rendre plus long le bras du levier auquel est appliquée cette force avec laquelle l'eau pousse continuellement en haut. Nous convenons que le changement que nous indiquons, & auquel on se trouve également conduit par toutes les remarques qui tendent à perfectionner les autres parties de la construction, fera dans les commencemens perdre aux vaisseaux beaucoup de leur grace aux yeux des marins; mais à cela on ne sauroit que faire; la Géométrie est une science impérieuse, & c'est à nous à trouver beau tout ce qu'elle nous prescrit.

CHAPITRE VI.

Reconnoître si dans les vaisseaux qu'on se propose de construire, le centre de gravité sera effectivement au-dessous du métacentre, ou du terme qu'on vient de déterminer.

SI on veut maintenant tirer la plus grande utilité possible pour la pratique de la théorie expliquée dans les chapitres précédens, il faut chercher par la discussion de toutes les parties du vaisseau qu'on se propose de construire, la situation qu'aura son centre de gravité. Ce centre doit être nécessairement au-dessous du métacentre, ou au-dessous de ce terme qu'on connoît déja, ou qu'on a au moins les moyens de connoître. Mais est-il sûr qu'il y sera réellement; & n'est-ce pas une chose trop importante pour ne pas l'examiner avec soin, au lieu d'attendre, comme on y a été réduit jusqu'à présent dans la Marine, que le bon ou le mauvais succès fît connoître si les mesures qu'on avoit prises étoient justes ou fausses ? Il n'est plus question ici du navire consideré comme un corps géométrique, ou homogène, ni de la pesanteur qu'il doit avoir par rapport au volume d'eau dont il occupera la place; mais de celle qu'il aura effectivement par l'assemblage de ses membres, & de toutes les parties hétérogènes qui doivent le composer.

Le détail dans lequel il faut entrer, & qui paroît immense, peut d'abord effrayer; mais outre qu'il n'a d'autre difficulté que sa longueur, il s'en faut beaucoup qu'il soit aussi long qu'on est porté à le croire à la premiere vue. Toutes les parties du vaisseau qu'on se propose de construire, sont comptées, leurs dimensions sont déterminées d'avance, & s'il faut des jours & des semaines à un grand nombre d'ouvriers pour achever de donner à chacune la

forme qu'elle doit avoir, il ne faut, à l'aide d'un plan, ou d'un devis exact, qu'un instant au géometre exercé pour trouver la solidité & la pesanteur de ces mêmes pieces. Il peut mettre ensemble toutes celles qui sont de même espece; joindre tous les baux, chercher en même tems la solidité de toutes les courbes, de tous les bordages; faire une somme de la pesanteur de tous les canons de la même batterie. On peut s'aider dans tout cela des tarifs qu'on a déja dans tous les ports: on examinera en même tems le centre de gravité de chaque piece; & on réussira de cette sorte, avec assez peu de travail, à résoudre un des problêmes dont la solution peut contribuer le plus à perfectionner la construction.

Mais on verra après tout, comme je viens de le dire, que la difficulté n'est pas si grande qu'elle paroît d'abord: C'est ce que j'ai reconnu, après en avoir fait l'essai sur une frégate que j'ai vu construire au Havre-de-Grace, & ensuite sur differens vaisseaux, en supposant les dimensions que je sais qu'on leur donne le plus ordinairement. La frégate dont je parle, nommée *la Gazelle*, avoit 80 pieds de quille, & 25 pieds de bau, ou de plus grande largeur. On avoit déja commencé à la construire, lorsque je travaillai à l'examen dont je vais rendre compte: mais elle n'étoit encore, pour parler en termes d'art, formée qu'en *bois tors*, c'est-à dire qu'elle n'avoit que ses membres, sans avoir de bau ni de bordage.

De la pesateunr de toutes les parties de la frégate du Roi, nommée la Gazelle

La quille de cette frégate avoit un pied de largeur & $13\frac{1}{2}$ pouces de hauteur, ou d'épaisseur moyenne; ce qui avec les 80 pieds de longueur, donne 90 pieds cubiques de solidité. Les deux parties de la contre-quille étoient de $29\frac{2}{3}$ pieds cubiques; l'étambot avoit 22 pieds de hauteur sur 12 pouces d'épaisseur & 15 pouces de largeur moyenne, ce qui faisoit $27\frac{1}{2}$ pieds cubiques. Le contre-étambot étoit de 11 pieds cubiques. La courbe qui sert

à lier cette piece avec la quille, de 9 pieds; la lisse d'hourdy de 26 $\frac{1}{2}$. Les 10 montans d'écusson, dont la longueur moyenne étoit de 5 pieds sur 15 pouces en quarré, étoient ensemble de 110 pieds cubiques, & les estains de 57. L'étrave étoit de 25 pieds cubiques: la contre-étrave de 11 $\frac{2}{3}$, & les huit alonges d'écubier étoient de 99 pieds. Enfin il y avoit 58 couples qui avoient 52 pieds de contour moyen, en comprenant les varangues, les genoux & les alonges; elles avoient un pied de largeur moyenne, & un demi-pied d'épaisseur; de sorte qu'elles étoient ensemble de 1508 pieds cubiques. Or toutes ces parties font 2005 pieds cubiques, & c'est donc la quantité de *bois net** qui entroit dans la construction de la frégate dont il s'agit lorsqu'elle n'avoit encore que ses membres, & qu'elle n'avoit ni bau ni bordage.

Il ne me restoit plus après cela, pour découvrir la pesanteur de la frégate dans l'état où elle étoit, qu'à sçavoir le poids du pied cubique de bois de chêne. *Savot* a trouvé qu'il pese 60 livres; mais lorsque ce bois est bien nourri, il pese le plus souvent 66 ou 68 livres, & je me servirai de 66, parce que c'est le poids moyen que j'ai trouvé, en faisant peser plusieurs pieces dont je connoissois exactement la solidité. Les 2005 pieds cubiques pesoient donc 132330 livres; mais il faut encore ajouter 2029 pour le fer qu'on avoit employé en chevilles & en goujons, qu'on avoit eu le soin de peser exactement chaque fois. Ainsi c'est en tout 134359 livres, ou un peu plus de 67 tonneaux. Il est bon de sçavoir que tant que les navires ne sont encore qu'en bois tors, il n'y a guere qu'une livre ou une livre & demie de fer pour chaque pied cubique de bois; mais que comme on est ensuite obligé de le multiplier, en mettant une grande quantité de clous pour tenir les bordages & les autres pieces, il se trouve à la fin de tout l'ouvrage, qu'il y a au moins deux livres ou deux livres & demie de fer pour chaque pied cubique. De sorte que celui qui entre dans la construction d'un vaisseau, augmente au moins sa pesanteur.

* Il faut de bois *brut* une moitié de plus; c'est-à-dire que pour tirer 2000 pieds cubiques de bois travaillé, il faut en employer environ 3000. Mais les Ouvriers commettent souvent sur cela de grands abus, parce qu'il est d'usage que les copeaux leur appartiennent.

d'une trentieme partie. Ce n'est pas tout-à-fait la même chose en Angleterre ; car l'usage s'y est introduit d'employer beaucoup de chevilles de bois dans la construction de certains navires.

Si l'on fait le même calcul pour des vaisseaux de 120 & de 140 pieds de quille, on verra qu'ils sont plus pesans à proportion ; ce qui vient de ce que leurs membres & les autres parties sont non-seulement formées de plus grosses pieces de bois, mais de ce qu'il y en a aussi un plus grand nombre. Si la proportion des cubes étoit exactement observée, un vaisseau dont la quille est de 120 pieds, ne devroit avoir que 6767 pieds cubiques de bois tors, à proportion de la frégate de 80 pieds de quille, qui en a 2005 ; mais il en entre plus de 8000 pieds dans la construction d'un pareil vaisseau. La différence se manifeste encore davantage à la fin de tout l'ouvrage ; les vaisseaux qu'on appelle du premier & du second rang, ayant toujours trois ponts, au lieu que les autres n'en ont que deux, & quelquefois qu'un ; ce qui doit certainement empêcher que leur pesanteur suive des degrés réglés. Ainsi quand même il seroit possible que les Constructeurs s'accordassent à donner les mêmes grosseurs aux pieces de bois, ce ne seroit toujours qu'en comparant les seuls vaisseaux de même classe, qu'on pourroit juger de la pesanteur de l'un par celle de l'autre.

Mais pour revenir à notre frégate, on peut supputer avec la même facilité la solidité & la pesanteur de toutes les autres pieces qui entrent dans sa construction, comme des baux, des courbes, des bordages, &c. & on saura donc de cette sorte la pesanteur qu'elle aura dans tous ses différens états, comme lorsqu'elle est prête à lancer à l'eau, ou lorsqu'elle est entierement construite. Pour pouvoir la mettre à l'eau, il faut au moins que le bordage soit poussé jusqu'à la hauteur du pont. Elle pesera alors au moins 100 tonneaux ; mais elle pourra peser davantage : car si les Constructeurs n'attendent jamais que leurs navires soient entierement achevés pour les

mettre à la mer, il dépend d'eux de laiſſer plus ou moins d'ouvrage à faire. Enfin ſi on entre dans le détail de la ſolidité de toutes les pieces, on verra qu'il faut, pour achever la frégate, environ 4180 pieds cubiques de bois, dont il y en aura environ une dixieme partie de ſapin. La peſanteur de ce dernier bois eſt beaucoup plus variable que celle de chêne, à cauſe du plus ou du moins de réſine qu'il contient. Quelques perſonnes ont trouvé qu'il peſe 40 ou 44 livres le pied; au lieu que dans quelques expériences que j'ai faites, j'ai trouvé qu'il peſoit ſeulement 35 livres. J'ai pris le milieu : & il m'eſt venu 267212 livres ou 133 $\frac{1}{2}$ tonneaux pour la peſanteur des 3762 pieds cubiques de chêne & des 418 de ſapin; à quoi ajoutant une trentieme partie pour la peſanteur du fer, il vient 138 tonneaux pour le poids total du navire, lorſqu'il eſt entierement conſtruit, & qu'il ne lui manque plus que ſa mâture.

On peut ſavoir également la peſanteur des mâts, des vergues & de tous les agreils. La mâture eſt preſque toujours de ſapin, & on peut, pour la facilité des calculs, ſuppoſer que chaque mât eſt un tronc de conoïde parabolique, quoique les côtés ſoient pour l'ordinaire des portions d'ellipſes. Le grand mât devoit avoir, ſelon les regles vulgaires, 63 ou 64 pieds de hauteur. Son diametre au travers du pont, devoit être de 18 $\frac{1}{4}$ pouces, & à ſon ſommet de 12 $\frac{1}{2}$ pouces. Si on cherche l'étendue des deux cercles qui ont ces diametres, & ſi prenant une étendue moyenne, on la multiplie par 63 pieds de longueur du mât, on verra que ſa ſolidité eſt d'environ 87 pieds cubiques, & qu'il peſe environ 3480 livres. Faiſant la même choſe pour tous les autres mâts, & pour les vergues, dont on peut conſiderer auſſi chaque moitié comme un tronc de conoïde parabolique, dont une des baſes n'a de diametre que le tiers de l'autre, on trouvera que toute la mâture peſe environ 8 tonneaux.

Toutes les manœuvres ont de même leur longueur & leur groſſeur déterminées. Cette groſſeur s'exprime ordi-

nairement dans la Marine par la circonférence du cordage mesurée en pouces, & j'ai remarqué, comme je l'ai déja dit dans le premier Livre, que la pesanteur moyenne en livres qu'a un pied de cordage, est égale à la vingt-cinquieme partie du quarré de sa grosseur, ou que la pesanteur de 5 brasses (c'est-à-dire de 25 pieds) est égale au quarré même de la grosseur. Si un cordage a, par exemple, 10 pouces de circonférence, une portion longue de 5 brasses, ou de 25 pieds, pesera 100 livres, qui est le quarré de 10; & une portion d'un pied pesera seulement 4 livres, qui est la vingt-cinquieme partie de ce quarré. Cette regle, qui est assez exacte pour tous les cordages qu'on fait en France, peut tenir lieu de tarif, & si on l'applique à toutes les manœuvres de la frégate que nous examinons, on trouvera que le poids de ses agreils, y compris les cables, est d'environ 20 tonneaux. Enfin, ajoutant encore 4 pour la pesanteur des ancres qu'on peut toujours connoître très-exactement, il viendra 170 tonneaux pour la pesanteur totale de la frégate, sa mâture & tous ses agreils compris.

Détermination du centre de gravité de la même frégate.

En même tems qu'on fera les caculs précédens, on pourra chercher la situation du centre de gravité. Il faut, pour découvrir cette situation par rapport à un certain terme, multiplier, comme nous l'avons deja dit, la pesanteur de chaque partie par la distance particuliere de son centre de gravité à ce terme, & diviser la somme de tous ces produits ou momens, par la somme des pesanteurs.

Comme on prend ordinairement pour la hauteur de toutes les parties du vaisseau, la quantité dont elles sont élevées au-dessus de la quille, on peut se servir de cette même hauteur pour découvrir le centre de gravité. On multipliera donc la pesanteur de chaque partie par sa hauteur au-dessus de la quille: on rassemblera le plus qu'on pourra, plusieurs parties ensemble, afin d'abréger l'operation,

tion ; on joindra, par exemple, tous les baux, & comme ils ne ſont pas tous également élevés au-deſſus de la quille, on prendra leur hauteur moyenne. Enfin faiſant une ſomme de tous ces produits, il ne reſtera plus qu'à la diviſer par celle des peſanteurs, & on aura la hauteur du centre de gravité. Je l'ai trouvée par cette méthode, pour la *Gazelle*, de $7\frac{1}{6}$ pieds, lorſque cette Frégate eſt ſans agreils, & qu'on ne conſidere que ſon propre corps qui peſe 138 tonneaux.

En mâtant la Frégate, & en lui donnant toutes ſes manœuvres, le centre de gravité ne peut pas manquer de s'élever conſidérablement. Celui des cordages eſt au milieu de leur longueur : mais comme les mâts ne ſont pas de même groſſeur par leur ſommet que par le bas, leur centre de gravité n'eſt pas tout-à-fait au milieu de leur hauteur ; & il doit ſe trouver aux $\frac{17}{39}$, s'il eſt permis de les conſidérer comme des troncs de conoïdes paraboliques, qui n'ont en haut que les $\frac{2}{3}$ du diametre qu'ils ont en bas. On pourroit chercher ſéparément combien chaque partie des agreils fait changer le centre de gravité total, en partageant la diſtance de ce centre au centre particulier de chaque partie réciproquement aux poids. Mais il vaut mieux, ce me ſemble, employer la méthode générale, en cherchant toujours les momens par raport à la quille priſe pour terme. Tout le corps du Bâtiment peſe 138 tonneaux, & ſon centre de gravité eſt élevé de $7\frac{1}{6}$ pieds au-deſſus de la quille ; ſon moment eſt donc de 989 : mais celui de la mâture & de toutes les manœuvres ſera preſque auſſi grand, malgré leur peu de peſanteur, parce qu'elles ſont extrêmement élevées au-deſſus de la quille par raport aux autres parties. Je trouve 925 pour leur moment particulier, lequel ajouté à 989, donne 1914 pour le moment total qu'il ne reſte plus qu'à diviſer par la peſanteur du Vaiſſeau & de ſes agreils, qui en tout eſt de 170 tonneaux, & il viendra $11\frac{44}{170}$ pieds pour la hauteur du centre de gravité du Navire, lorſqu'il eſt mâté, & qu'il a tous ſes apparaux.

L'Artillerie peſera environ 20 tonneaux, & ſi on multiplie ſon poids par ſa hauteur au-deſſus de la quille, qui doit être à très-peu près de 15 $\frac{1}{4}$ pieds, on aura ſon moment 305; & ſi on l'ajoute à celui 1914 de la Frégate entiere, il viendra 2219 pour la ſomme, qu'il ne reſtera plus qu'à diviſer par celle des poids; c'eſt-à-dire par 170 tonneaux, augmentés de 20. On trouvera à très-peu près 13 $\frac{1}{19}$ pieds pour la hauteur du centre de gravité au-deſſus de la quille, lorſque la Frégate a ſon artillerie montée, & qu'elle a, outre cela, toutes ſes manœuvres.

Cette hauteur de 13 $\frac{1}{19}$ pieds eſt ſans doute trop grande, & la Frégate ne pourroit pas ſe ſoutenir dans cet état. C'eſt ce que je n'ai pas cru devoir me donner la peine de vérifier, en cherchant exactement la place du métacentre; ſçachant aſſez que la hauteur de 13 $\frac{1}{19}$ pieds du centre de gravité devoit diminuer très-conſidérablement par l'introduction de la charge ou du leſt, qu'on ne pouvoit pas ſe diſpenſer de mettre dans la cale. La peſanteur de la Frégate conſiderée actuellement, eſt de 190 tonneaux, & ſi ſa peſanteur totale, en comprenant ſa charge ou ſon leſt, doit être de 400 tonneaux, à proportion de la ſolidité entiere de la carene, ou de toute la partie ſubmergée, ce qu'il eſt toujours facile de décider; il faudra que la charge ſoit de 210 tonneaux pour achever de faire caler la Frégate juſqu'à l'endroit convenable. Le centre de gravité de cette charge ſera plus ou moins haut, ſelon qu'elle occupera dans la cale plus ou moins de place; ou ſelon qu'elle ſera d'une peſanteur ſpécifique plus ou moins grande. On ſçaura l'eſpace qu'elle doit occuper, par la meſure qu'on aura priſe des diverſes parties de la carene, en retranchant l'épaiſſeur des flancs, & ſon centre de gravité pourra être élevé de 3 ou 4 pieds; mais je prends 4 pieds, afin d'avoir le cas moins favorable. Le moment de la charge ſera donc de 840; & ſi on l'ajoute à celui 2219 que nous avons trouvé en dernier lieu, on aura 3059 pour la ſomme générale de tous les momens particuliers, & la diviſant par 400, ſomme de toutes les peſanteurs, il

viendra 7 pieds presque 8 pouces pour la hauteur requise au-dessus de la quille, du centre de gravité de la Frégate toute armée & toute équipée. Lorsque le centre de gravité de la charge sera plus bas, celui de tout le Vaisseau aura encore moins de hauteur; & comme il est déja pour le moins $4\frac{3}{4}$ pieds ou 5 pieds au-dessous du métacentre, ou du terme de la plus grande hauteur, il est certain que la Frégate ne pourra pas manquer d'être stable, ni même d'avoir une grande force pour persister dans sa situation horisontale. C'est d'ailleurs ce qui doit arriver infailliblement dans ces sortes de Navires, dont la pesanteur particuliere n'est pas excessive, & qui peuvent en même tems recevoir un assez grand poids dans leur cale. Cette addition d'un grand poids par en bas, doit toujours faire descendre considérablement le centre de gravité du tout.

De la situation du centre de gravité dans les grands & dans les petits Navires, & de la sûreté qu'en reçoit la Navigation.

Mais cet avantage qu'ont les petits Navires, se perd peu à peu dans les plus grands, non pas précisément à cause de leur grandeur, car s'ils avoient des figures parfaitement semblables, & si leur pesanteur étoit aussi distribuée de la même maniere, ils jouiroient toujours des mêmes avantages, & en acquereroient même de nouveaux, comme on l'a vu & comme on le verra encore dans la suite: mais les grands Vaisseaux perdent de leur avantage, parce qu'on les charge beaucoup plus à proportion par en haut, tant par leur grosse artillerie, que par les ponts & les dunettes. Les Vaisseaux du premier rang de 110 ou 120 canons, de 48 pieds de plus grande largeur, & de 148 de quille, peuvent peser avec leur artillerie & tous leurs agreils, ou apparaux, mais sans lest, deux mille trois ou quatre cens tonneaux. Ce poids se trouvera peut-être différent; mais puisque le Constructeur sçait les dimensions

qu'il veut donner à toutes les piéces, on peut toujours découvrir d'avance, aussi exactement qu'il est nécessaire, la pesanteur que doit avoir le Vaisseau. De ces 2300 tonneaux il y en aura 44 pour la mâture, autant pour les cables & les ancres; 28 ou 30 pour les manœuvres, & environ 300 pour l'artillerie. Toutes ces choses auront différens momens, non-seulement à raison de leurs différens poids, mais aussi à cause de leurs différentes élévations au-dessus de la quille. Ces momens feront environ 70000, & si on divise cette somme par 2300, on trouvera 30 ou 31 pieds pour la hauteur du centre de gravité du Vaisseau sans lest. Cette hauteur, vu les dimensions qu'on donne à la carene, est au moins trop grande de 6 à 7 pieds: Mais quoiqu'on la diminue extrêmement par le lest, qui fait descendre le centre de gravité du tout, on ne peut gueres réussir à mettre ce centre qu'un ou deux pieds au-dessous du métacentre. Car si le volume d'eau déplacée pese 3500 tonneaux, la pesanteur du lest doit être de 1200 tonneaux, supposé que la pesanteur particuliere du Vaisseau & de ses agreils soit toujours de 2300: on ne peut pas mettre une plus grande quantité de lest, sans faire caler le Vaisseau davantage, & au-delà du terme qu'on s'est proposé. Mais ce lest, dont le centre de gravité particulier sera au moins élevé de 6 pieds, ne portera pas le centre de gravité commun du tout au-dessous de 22 pieds de hauteur. Ainsi ce dernier centre ne sera que d'environ 2 pieds au-dessous du métacentre; au lieu qu'il est au moins deux fois plus bas dans les petits Navires.

Il ne coûtera rien, en faisant les calculs que nous venons d'indiquer, de s'assurer s'il est avantageux de faire certains changemens à la disposition de la charge, ou à quelqu'une des autres parties qui forment le poids. Nous nous contenterons d'en donner un exemple très-simple, en examinant le choix qu'on peut faire des canons de différens calibres, pour armer les plus grands Vaisseaux. Supposons que la premiere batterie soit formée de chaque

côté de 15 canons de bronze de 36 livres de balle, & la ſeconde de 16 canons de 18 livres, & qu'on demande ſi l'on peut ſubſtituer dans les deux batteries du canon de 24 livres de balle. Il faudra ſçavoir la peſanteur de ces canons, y compris leurs affuts; ſi ceux de 36 livres peſent 6800, & 4200 ceux de 18, les 62 canons des deux batteries complettes peſeront 338400 livres, ou environ 169 tonneaux: au lieu que 62 canons de 24 livres, ſi on les ſuppoſe également de fonte, ne peſeront qu'environ 164 tonneaux. Ainſi il y a d'abord un peu à gagner dans la ſeconde diſpoſition du côté du poids : nous diſons un peu; car à peine le Vaiſſeau devenu plus leger par la moindre peſanteur de ſon artillerie, ſortira-t-il de l'eau de 3 lignes.

Mais d'un autre côté le centre de gravité des deux batteries formées de canons de 24, ſera plus haut: ſi une de ces batteries eſt élevée de 8 pieds au-deſſus de l'autre, le centre de gravité des deux ſera environ 4 pieds 2 pouces au-deſſus de la premiere; au lieu que dans le premier cas, ou lorſque la batterie d'en bas ſera formée de canons de 36, & la ſeconde de canons de 18, le centre de gravité ne ſera élevé que de 3 pieds 2 pouces; comme on peut s'en aſſurer, en diviſant la hauteur d'une des batteries au-deſſus de l'autre, réciproquement à leur peſanteur particuliere. Il pourroit donc y avoir une compenſation par la différence de hauteurs dans les centres de gravité; & ce n'eſt qu'en pouſſant la diſcuſſion encore plus loin qu'on peut ſe décider. Si le Navire ſortoit de l'eau d'une plus grande quantité que de trois lignes dans la ſeconde diſpoſition, il faudroit calculer le changement que doit ſouffrir le métacentre; mais on peut négliger ici ce changement, & ſe contenter de chercher le moment de l'artillerie dans l'un & l'autre cas, par raport au centre de gravité du Navire, ou ce qui revient au même, diviſer encore réciproquement aux poids la diſtance des centres de gravité. On reconnoîtra par l'examen qu'on en fera, que le centre de gravité commun du Vaiſſeau,

qui se trouve toujours porté un peu en haut par le poids de toutes les parties supérieures, est laissé environ un pouce plus bas dans la premiere disposition ; & que les batteries de 36 livres de balle & de 18, quoique plus pesantes, sont donc préférables pour la sûreté de la navigation aux deux de 24.

Ce n'est pas, après tout, la disposition qui porte le centre de gravité du Vaisseau le plus au-dessous du métacentre, qui est absolument la meilleure. Il faut que le centre de gravité commun, soit au-dessous du métacentre, & soit considérablement au-dessous : c'est une premiere condition qui est indispensable. Mais la stabilité du Vaisseau dépendant aussi de sa pesanteur, a pour *exposant* le produit de cette pesanteur multipliée par la quantité dont le centre dans lequel elle se réunit est au-dessous de l'autre point. Pendant que le Navire est parfaitement de niveau, sa pesanteur ne fait aucun effort pour le maintenir dans cet état : mais elle commence à agir aussi-tôt que l'inclinaison commence ; & plus le centre de gravité sera au-dessous du métacentre, plus le bras du levier auquel elle sera appliquée sera long, & plus elle sera donc située avantageusement : en même tems que plus elle sera grande par elle-même, plus elle sera aussi capable de travailler avec efficacité. Ainsi on peut trouver quelquefois un avantage réel à situer le centre de gravité un peu plus haut. On trouve cet avantage toutes les fois qu'on peut augmenter en même tems la pesanteur totale du Vaisseau dans un plus grand raport. Si le Vaisseau du premier rang, qui pese 3500 tonneaux, a son centre de gravité deux pieds au-dessous du métacentre, le moment, ou la force relative avec laquelle cette pesanteur s'oppose à l'inclinaison, sera 7000, ou pour mieux dire, sera proportionnelle à 7000, produit de 3500 par 2 pieds. Mais si en élevant le centre de gravité, on ne le met que $1\frac{4}{5}$ pieds au-dessous du métacentre, & qu'on augmente en même tems la pesanteur totale jusqu'à la rendre de 4000 tonneaux, le moment sera ensuite de 7200; & la

seconde disposition sera préférable à cet égard à la premiere : elle rendra le Vaisseau plus stable, dans le même rapport que 7200 est plus grand que 7000.

Il sera toujours facile de cette sorte, en mettant à l'épreuve du calcul la figure & les proportions qu'on se propose de donner à un Navire, de prévoir quel sera le succès de l'entreprise, & de s'épargner toute la peine, toute la dépense & toute la honte d'un travail imprudent & inutile. Le Constructeur ne sera plus sujet à manquer son ouvrage; au moins de cette maniere grossiere qui deshonore la Marine, & qui ne rend pas simplement les Vaisseaux mauvais voiliers, mais qui les condamne à ne jamais sortir du Port. Maintenant que nous sommes en état de connoître le mal, il faut tâcher d'y remédier; ou en changeant quelque chose dans les dimensions que nous aurons trouvées mauvaises, ou en indiquant d'une maniere immédiate & absolue celles qui sont les meilleures.

CHAPITRE VII.

Du changement qu'apportent à la situation du Métacentre les divers changemens qu'on peut faire à la Carene.

I.

POUR juger des changemens que souffre la hauteur du métacentre, lorsqu'on altere la figure de la carene, il faut qu'on se rappelle les principes établis dans le Chapitre III. de cette Section, ou qu'on jette les yeux sur la formule $rg = \frac{\frac{2}{3} S y^3 dx}{p}$ de l'Article IV. de ce même Chapitre. La premiere remarque qu'elle suggere, c'est que la hauteur rg du métacentre g (Fig.

Fig. 54. 54) au-dessus du centre de gravité Γ de la carene, ne dépend que de la grandeur p de la carene, & de la figure de la tranche horisontale faite à fleur d'eau, dont y désigne les ordonnées, & x les parties de l'axe, ou de la longueur du Vaisseau. C'est-à-dire qu'on peut donner une infinité de diverses formes à la carene, sans que la hauteur Γg change en aucune façon. Il suffit pour cela de conserver à la carene toujours sa même solidité, quoiqu'on change sa figure, & de ne point toucher du tout à la coupe horisontale faite à fleur d'eau.

Notre formule nous apprend cette vérité, & on la voit aussi fort aisément sans le secours d'aucune expression algébrique. Aussi-tôt qu'on ne change ni la solidité de la carene, ni la figure de sa coupe horisontale faite à fleur d'eau, le même rapport subsiste toujours entre Γ 1 & Γ 3, de même que celui qui est entre $\gamma 2$ & $\gamma 3$, & celui qui est entre 1, 2 & $\Gamma\gamma$. Ainsi la distance des centres de gravité Γ & Γ reste la même; & la hauteur Γg où vont se couper les directions ΓZ & $\Gamma\zeta$, ne doit donc point aussi changer. Mais il faut remarquer expressément que ce n'est que la hauteur respective du métacentre g par rapport au centre de gravité Γ de la carene, qui ne varie pas. Car selon les diverses formes qu'on donne à la carene, son centre de gravité Γ doit se trouver plus ou moins haut; & puisque le point g conserve toujours la même hauteur au-dessus de ce centre, il doit recevoir précisément dans sa hauteur absolue les mêmes changemens. Comme on ne peut pas donner à la coupe AEB, dont l'étendue est déterminée, de figure qui éleve plus son centre de gravité Γ, que celle d'un rectangle, il résulte que c'est cette même figure, & celles qui en approchent davantage, qui élevent le plus le métacentre g, & qui donnent par conséquent la liberté de mettre plus haut le centre de gravité du Navire, de ses agreils & de tout ce qu'il contient.

II

II.

Lorſqu'on ne change que la longueur du vaiſſeau ſans toucher à ſes autres dimenſions, le centre de gravité Γ & le point *g* doivent reſter dans les mêmes endroits : comme cela ſe voit aſſez évidemment, nous ne nous y arrêterons pas. Mais nous allons examiner ce qui doit arriver lorſqu'on change proportionnellement toutes les largeurs du navire, ſans changer ni ſa longueur, ni ſa profondeur.

III.

Lorſqu'on ne touche qu'aux ſimples largeurs du vaiſſeau, & qu'on les change toutes proportionnellement, le centre de gravité Γ de la carene, qui nous ſert de terme pour juger des changemens que ſouffre le métacentre *g*, doit reſter dans le même endroit, puiſque toutes les coupes horiſontales de la carene, en augmentant ou en diminuant proportionnellement, conſervent entr'elles les mêmes rapports. Mais la diſtance 1, 2 des centres de gravité 1 & 2 des ſolides BF*b* & AF*a*, doit recevoir un changement proportionnel à celui que ſouffre la largeur AB ; & auſſi-tôt que la diſtance 1, 2 eſt ſujette à changer, le petit intervalle Γγ le doit être également & en même rapport, de même que la hauteur Γ*g* : c'eſt-à-dire que ces quantités doivent toutes augmenter ou diminuer proportionnellement à la largeur AB. D'un autre côté, lorſqu'on augmente ou qu'on diminue la largeur AB, on ne fait changer la ſolidité de la carene que dans le rapport ſimple de la largeur : au lieu que les petits ſolides BF*b*, AF*a*, changent comme le quarré : parce que la petite hauteur BH varie en même raiſon que FB. Or c'eſt la même choſe, quant au rapport, que ſi la ſolidité de la carene demeuroit conſtante, & que celle des deux petits ſolides BF*b*, & AF*a*, ne variât que dans la raiſon ſimple des largeurs ; & il ſuit de-là que le petit intervalle 3Γ, doit être plus ou moins grand, eu égard à Γ1 dans la même raiſon ; ce qui entraîne le même changement dans Γγ, & enſuite dans Γ*g*. Il eſt donc évi- Fig. 54.

Fig. 54. dent que Γg, qui eſt toujours proportionnelle à $\Gamma\gamma$, change par deux endroits. Elle change, parce que $\Gamma\gamma$ eſt plus ou moins grande par rapport à 1, 2, ſelon qu'on augmente ou qu'on diminue la largeur du navire ; & elle change en ſecond lieu, parce que l'intervalle 1, 2 eſt lui-même plus ou moins grand dans le même rapport.

Ainſi la hauteur Γg, au lieu de ſuivre le rapport ſimple des largeurs, doit ſuivre celui de leurs quarrés : & il ſuffit par conſéquent d'apporter un aſſez leger changement aux largeurs de la carene, pour en produire un très grand dans la hauteur où l'on peut mettre enſuite le centre de gravité du navire. S'il étoit poſſible d'augmenter 2 ou 3 fois la largeur, on pourroit mettre après cela le centre de gravité 4 ou 9 fois plus haut : c'eſt par cette raiſon que le ſoufflage ou le renflement de la carene, non pas celui qui eſt égal par tout, mais celui qui augmente principalement la largeur par en haut, eſt capable d'effets ſi marqués. La formule $\Gamma g = \frac{\frac{2}{3} Sy^3 dx}{p}$ indique la même choſe ; & ce que la théorie enſeigne ici, les Conſtructeurs, ſans en ſçavoir la raiſon, l'ont éprouvé une infinité de fois.

IV.

Enfin, ſi ſans toucher aux largeurs, ni à la longueur de la carene, on ne fait que changer ſa profondeur ; ſi on la diminue, par exemple ; le centre de gravité Γ s'élevera, puiſque $F\Gamma$ diminuera en même tems & en même raiſon que FE ; & outre cela le métacentre g s'élevera encore par rapport au centre Γ. La diminution de la profondeur FE fera diminuer la ſolidité de la carene proportionnellement : mais le petit ſolide BFb qui n'aura pas changé, étant enſuite plus grand par rapport à la carene, les petites diſtances 3Γ & 3γ feront plus grandes par rapport à $\Gamma 1$; d'où il ſuit que $\Gamma\gamma$ ſera auſſi plus grande de même que Γg. On voit donc qu'outre l'élevation que reçoit le centre Γ, lorſqu'on diminue la profondeur de la carene, la hauteur du métacentre g au-deſſus de ce centre, aug-

mente encore en même raiſon que la profondeur de la carene eſt diminuée.

On peut repréſenter aiſément, & d'une maniere générale, les diverſes hauteurs du métacentre au-deſſus du fond de la carene pour tous les divers creux, ou toutes les diverſes profondeurs, par les ordonnées d'une hyperbole comparée à un de ſes diametres. Si on éleve une perpendiculaire EG (Fig. 59.) au bas de la verticale FE, qui marque la profondeur du vaiſſeau, & que faiſant EM égale à la hauteur EΓ du centre de gravité Γ, & EG égale à la hauteur E*g* du métacentre, ou MG égale à Γ*g*, on tire la droite FM, & qu'on trace par le point G l'hyperbole gGg entre les deux droites FB & FM, priſes pour aſymptotes, toutes les autres ordonnées, comme *eg*, paralleles à EG, marqueront la hauteur du métacentre au-deſſus du fond *e* de la carene, pour toutes les diverſes profondeurs F*e*, ou FE qu'on donnera au vaiſſeau. Il eſt bien évident que comme le centre de gravité Γ, dans ſes changemens de place, partagera toujours les profondeurs EF, ou *e*F dans le même rapport, lorſqu'on les diminuera ou qu'on les augmentera, les lignes *em*, qui ont toujours même rapport avec F*e*, que EM avec FE, ſeront égales aux hauteurs de ce centre de gravité au-deſſus du fond *e*. Mais puiſque la hauteur du métacentre au-deſſus de ce centre augmente en même raiſon que la profondeur de la carene diminue, il n'eſt pas moins clair qu'auſſitôt que la ligne MG repréſente la hauteur Γ*g*, ou lui eſt égale, toutes les autres lignes *m*g, interceptées entre l'aſymptote FM & l'hyperbole gG, ſeront continuellement égales aux hauteurs du métacentre au-deſſus du centre de gravité; il réſulte de tout cela que les lignes entieres *eg* ſeront égales aux hauteurs du métacentre au-deſſus du fond de la carene, puiſque ces hauteurs ſont formées de celles du centre de gravité, & de celles du métacentre au-deſſus du centre de gravité.

Fig. 59.

Si l'on veut exprimer maintenant les hauteurs du métacentre au-deſſus de la ſurface de l'eau, il n'y aura qu'à

Fig. 59. retrancher des lignes EG, *eg*, &c. qui marquent les hauteurs au-dessus du fond du vaisseau, les parties EN, *en*, &c. égales aux profondeurs mêmes FE, F*e*; & les restes NG, *ng* seront égaux aux hauteurs du métacentre au-dessus de la surface de la mer. On retranchera tout d'un coup toutes ces parties, en tirant la droite FN, qui coupe l'angle droit BFE par la moitié. Le point *h*, où cette ligne coupera l'hyperbole, indique la profondeur F*e*, qu'il faut donner à la carene, pour que le métacentre se trouve précisément dans la surface de l'eau. Lorsque les profondeurs seront plus grandes, les quantités *ng* seront négatives; ce qui marquera que le métacentre sera enfoncé dans l'eau : au lieu que pour peu que les profondeurs soient moindres, le métacentre s'élevera au-dessus de la surface de la mer; & s'élevera même à une hauteur infinie, si l'on diminue toujours de plus en plus la profondeur de la carene.

CHAPITRE VIII.

Des changemens que reçoit la force qu'a le navire pour rester de niveau, lorsqu'on change les dimensions de sa carene, & premierement lorsqu'on change sa longueur.

I.

NOUS n'avons examiné jusqu'ici que les seuls changemens ausquels est sujette la hauteur du métacentre; mais il n'est pas difficile de découvrir ceux qu'il est beaucoup plus important de connoître, que souffre *la stabilité* même du vaisseau, cette force avec laquelle il persiste à rester dans le même état, ou plutôt avec la-

quelle il travaille à retourner à sa situation horisontale, lorsqu'on la lui a fait perdre. Supposé que sans alterer ni la largeur, ni la profondeur de la carene, on ne change que sa seule longueur, il est évident que *la stabilité* doit changer dans le même rapport : L'alongement ou le racourcissement de la carene, n'obligera en aucune façon à changer la distribution de la pesanteur : il faudra seulement rendre cette pesanteur plus ou moins grande, ou charger le navire d'un plus grand ou d'un moindre poids, à proportion des diverses espaces que sa carene occupera dans la mer. Le centre de gravité ne montera donc ni ne descendra, & le métacentre restera aussi toujours dans la même place : ainsi le bras de levier auquel la pesanteur du navire sera appliquée, sera toujours exactement de même longueur. Il est bien vrai qu'on ne doit pas prendre pour le levier toute la quantité dont le centre de gravité est au-dessous du métacentre. Dans la figure 55, par exemple, on voit clairement que la poussée de l'eau qui s'exerce selon la direction γg, n'est appliquée qu'à la distance TG du centre de gravité G, ou qu'elle n'agit qu'avec le bras du levier TG, pour relever le navire, & le restituer dans la situation horisontale. Mais puisqu'il ne s'agit ici que d'une certaine inclinaison déterminée, & la même dans tous les navires dont on veut comparer *la stabilité*, la distance TG est toujours la même partie de Gg, & on est par conséquent autorisé à ne considerer que Gg. Il suit de tout cela que le moment de la pesanteur totale, ou sa force relative, ou pour le dire encore autrement, la stabilité du navire, ne recevra ici de changement que parce que la pesanteur sera plus ou moins grande : & puisque cette pesanteur est proportionnelle à la longueur de la carene, aussi-tôt que les autres dimensions sont les mêmes, la force relative dont il est question, sera aussi proportionnelle à ces longueurs.

Fig. 55.

Il n'importe, pour l'exactitude de cette proposition, que la pesanteur totale se réunisse dans un point plus haut ou plus bas que le centre de gravité de la carene ;

pourvu que lorſqu'on allonge ou qu'on racourcit le navire, le centre de gravité commun (comme cela eſt très-naturel) ne monte ni ne deſcende : car le moment ne recevra toujours alors tout ſon changement que de la ſeule force abſolue, ou de la peſanteur. Ainſi le theoreme eſt général : *dans les navires qui ne different que par leurs longueurs, les ſtabilités ſont en même raiſon que ces longueurs.*

II.

Du changement que reçoit la ſtabilité des corps flottans, lorſqu'on change leur profondeur.

Si au lieu de changer la longueur, on ne change que les profondeurs du navire, ſans toucher à ſes largeurs, il faudra rendre encore la peſanteur plus ou moins grande ; & outre cela elle ſera appliquée à un levier different ; parce que le métacentre montera ou deſcendra par rapport au centre de gravité de la carene, dans lequel nous ſuppoſons d'abord que tout le poids ſe réunit. Mais il ſe fera toujours une exacte compenſation dans le produit, & le moment ne changera pas ; parce que ſi la peſanteur eſt plus grande, la hauteur du métacentre au-deſſus du centre de gravité ſera plus petite dans le même rapport. Pour obtenir le moment, il faut multiplier la peſanteur totale p par la quantité $\Gamma g = \frac{\frac{2}{3} S y^3 dx}{p}$, dont le centre de gravité Γ eſt au-deſſous du métacentre ; mais il viendra la quantité $\frac{2}{3} S y^3 dx$, qui ne dépend, comme on le voit, que des ſeules dimenſions de la coupe horiſontale faite à fleur d'eau, dont y déſigne les largeurs, & dx les petites parties élementaires de la longueur. Qu'on change donc la figure de la carene ou de tout le vaiſſeau, pourvu que ſa premiere tranche faite à fleur d'eau, reſte la même, & que ſa peſanteur totale ſe réuniſſe dans le centre de gravité de la carene, la force qu'aura le navire pour conſerver ſa ſituation horiſontale, ne ſera point ſujette à changer, elle ſera toujours égale à $\frac{2}{3} S y^3 dx$.

Si l'expreſſion algébrique de la hauteur Γg, nous offre à la premiere vue la vérité de ce theoreme, il eſt tout auſſi facile d'en appercevoir la cauſe ou la raiſon phyſique. Suppoſé que ſans toucher aux largeurs AB (Fig. 54.) qu'a la carene par en haut, ni à ſa longueur, on change par en bas ſa ſolidité ou capacité AEB, & qu'on l'augmente du double ou du triple; elle ſera enſuite deux ou trois fois plus grande par rapport au petits ſolides FBb & AFa, qui entrent dans l'eau ou qui en ſortent par l'inclinaiſon, & qui ne ſouffriront aucun changement: les deux centres de gravité Γ & γ des parties ſubmergées, lorſque le navire eſt de niveau, & lorſqu'il eſt incliné, ſeront donc deux ou trois fois plus voiſins l'un de l'autre; la hauteur Γg ſera en même tems deux ou trois fois plus petite; & par conſéquent la peſanteur totale p, qui eſt proportionnelle à la ſolidité AEB, formera toujours le même produit, lorſqu'on la multipliera par cette hauteur Γg qui ſert de levier, & qui change toujours en raiſon inverſe. Ainſi il eſt démontré *que les vaiſſeaux de figures & de ſolidités, ou de peſanteurs différentes, mais dont la tranche horiſontale faite à fleur d'eau, eſt la même, ont toujours exactement la même ſtabilité, auſſi-tôt que leur peſanteur ſe réunit dans le centre de gravité de leur carene, ſuppoſée homogène.*

Fig. 54.

Nous ferons remarquer en paſſant que ce principe, qui peut avoir des uſages fort étendus, nous donne lieu de trouver une expreſſion géométrique fort ſimple de la ſtabilité de tous les corps flottans, dont nous n'avons encore qu'une expreſſion algébrique. Lorſque nous ne nous propoſions dans l'Article IV. du Chapitre III. que de découvrir la hauteur du métacentre, & que nous cherchions d'abord par approximation la valeur de l'intégrale $\frac{2}{3} Sy^3dx$, nous trouvions ſans y penſer la ſtabilité même du navire; & il ne reſtoit plus qu'à multiplier la quantité trouvée par 72 livres, qui eſt le poids du pied cubique d'eau marine, pour l'évaluer entierement en meſures ordinaires & connues. Nous pouvons maintenant en obtenir

Fig. 54. avec facilité une expreſſion plus ſimple, ou au moins plus propre à fixer nos idées. Puiſque cette force ne dépend aucunement de la figure qu'a la carene dans toute ſa partie inférieure, nous n'avons qu'à former par la révolution de la coupe faite à fleur d'eau un demi-ſphéroïde; & la force qu'il aura pour conſerver ſa ſituation horiſonle, ſera exactement la même que celle de tous les autres corps qui n'auront rien de commun avec le ſphéroïde, que la premiere tranche faite à fleur d'eau. Le métacentre de ce dernier ſolide ſera exactement dans ſon axe, & ſa ſtabilité ſera exprimée par ſa ſolidité multipliée par la quantité dont ſon centre de gravité ſera au-deſſous de l'axe, ou au-deſſous de la ſurface de l'eau. Les autres corps pourront avoir leurs métacentres plus ou moins élevés; mais leur peſanteur en récompenſe, nous ne le diſons encore, ſera moindre ou plus grande, préciſément en raiſon inverſe, & le moment total ſera par conſéquent toujours le même. Il eſt donc clair que le ſphéroïde que nous venons de ſpécifier, fournit un moyen fort ſimple de trouver pour tous les corps flottans la force de permanence que nous examinons, ſans qu'il ſoit néceſſaire d'avoir égard à l'irrégularité de leur figure par en bas, ni de paſſer par la recherche de leur métacentre; on pourroit paſſer exactement, au contraire, ſi on le vouloit, à la connoiſſance de ce point par celle de leur ſtabilité. Il ſuffira toujours de connoître la ſolidité de ce demi-ſpheroïde que nous leur ſubſtituons, de même que la quantité dont ſon centre de gravité eſt au-deſſous de ſon axe: la ſtabilité de ce corps ſera la ſtabilité de tous les autres.

Au lieu de ſubſtituer un ſphéroïde à la place des ſolides dont on veut avoir la ſtabilité, on peut auſſi leur ſubſtituer un corps dont toutes les coupes verticales, perpendiculaires à ſa longueur, ſoient des triangles rectangles dont l'angle droit eſt en bas. Ce ſolide, comme nous l'avons montré dans le chapitre IV. aura toujours ſon métacentre autant élevé au-deſſus de la ſurface

de

de l'eau, que son centre de gravité sera au-dessous de cette surface. Ainsi il n'y aura qu'à multiplier sa solidité par la quantité dont son centre de gravité est enfoncé dans l'eau, & prendre le double du produit, pour découvrir sa stabilité, & en même tems celle de tous les autres corps qui ont par en haut précisément les mêmes largeurs. Fig. 54.

Mais nous ne sçaurions avertir trop expressément que les expressions précédentes de cette force, ne sont exactes que lorsque la pesanteur du navire se réunit exactement dans le centre de gravité Γ de la carene, ou de la partie submergée, supposée homogène; & que si elle se réunissoit dans un point plus haut ou plus bas, la force dont il s'agit, seroit moindre ou plus grande de tout le produit de la pesanteur totale, ou de la solidité de la carene, par la quantité dont un des centres de gravité seroit au-dessus de l'autre. Supposé que K soit le centre de gravité commun de tout le vaisseau, il faudra pour avoir la stabilité, ou le moment qui la constitue, multiplier la pesanteur totale p par $Kg = \Gamma g + \Gamma K$. Ainsi cette force sera alors formée de deux parties, dont l'une $\frac{2}{3} Sy^3dx = p \times \Gamma g$ sera toujours constante, quelque figure qu'ait la carene par en bas, & sera égale à la stabilité du demi-sphéroïde formé par la révolution de la coupe horisontale faite à fleur d'eau. L'autre partie $p \times \Gamma K$, peut être au contraire plus ou moins grande; parce que la pesanteur totale p sera différente, & parce que l'intervalle ΓK entre les deux centres de gravité ne sera pas le même.

On voit donc en général, que plus on augmentera la profondeur FE de la carene, plus la force relative dont il est ici question, $\frac{2}{3} Sy^3dx + p \times \Gamma K$ deviendra grande, à cause de sa seconde partie; & que l'excès deviendroit même infini, si on augmentoit infiniment la profondeur. Mais la loi selon laquelle se fait l'augmentation, ne peut pas être ramenée à des rapports simples, à cause de l'hétérogénéïté de toutes les diverses parties du navire & de celles de sa charge.

III

Du changement que souffre la stabilité des corps flotans, lorsqu'on change leurs largeurs

Fig. 54. Supposons maintenant que sans toucher aux autres dimensions de la carene, on ne change que ses largeurs, & toutes proportionnellement. La force qu'a le navire pour rester de niveau, doit alors changer par deux endroits dans les cas mêmes où la pesanteur totale se réunira exactement dans le centre de gravité de la carene. Elle changera, parce que la force absolue, la pesanteur totale, sera differente, & plus ou moins grande précisément en même raison que les largeurs: elle changera en second lieu, parce que le bras de levier auquel cette force sera appliquée, sera plus ou moins long, puisque, comme nous l'avons vu dans l'article III. du chapitre précédent, la hauteur du métacentre au dessus du centre de gravité de la carene, croît ou décroît comme le quarré des largeurs, lorsque toutes les autres circonstances sont les mêmes. Or il suit de-là que la stabilité change en raison triplée, ou comme les cubes des largeurs, puisque ces cubes doivent être proportionnels aux pesanteurs qui changent comme les largeurs, multipliées par la longueur du bras de levier qui change comme le quarré. Si, sans alterer les autres dimensions, on rend, par exemple, toutes les largeurs deux fois plus grandes, la pesanteur totale sera double, & le métacentre sera quatre fois plus haut, ce qui donnera au navire huit fois plus de force pour persister dans son état, conformément au rapport des cubes.

On voit la même vérité en jettant les yeux sur la formule $rg = \frac{\frac{2}{3}Sy^3dx}{p}$, ou sur l'expression $\frac{2}{3}Sy^3dx$ qui en résulte de la stabilité. Cette quantité, ainsi qu'on le voit, change comme les cubes des largeurs y, aussi-tôt que la

longueur x de la carene ne souffre point de changement, & on s'est convaincu d'ailleurs dans l'article précédent, que les diverses profondeurs de la carene n'influent en rien dans la circonstance marquée sur la force qu'a le navire pour conserver sa situation horisontale. Ainsi ce nouveau théoreme, qui sera utile dans l'Architecture navale, est parfaitement établi : que *lorsque les vaisseaux sont de même longueur, leurs stabilités sont comme les cubes de leurs largeurs.*

Fig. 54

Comme on donne maintenant dans la Marine une très-grande largeur aux navires, il n'est plus permis de l'augmenter beaucoup ; mais on peut changer les autres largeurs vers l'avant & vers l'arriere, & lorsqu'on les augmentera, on conferera une nouvelle force au vaisseau pour persister dans sa situation horisontale. On peut aisément comparer le navire qui seroit cylindrique depuis une extrémité jusqu'à l'autre, avec le navire qui seroit formé de deux cônes, l'un pour la proue & l'autre pour la poupe; ou ce qui est plus general, mais ce qui revient au même, on peut comparer le navire, dont la coupe horisontale faite à fleur d'eau, est un rectangle, parce que toutes les largeurs dans cet endroit sont égales entr'elles, avec le navire dont la coupe faite à fleur d'eau, est formée de deux triangles, l'un du côté de l'avant, & l'autre du côté de l'arriere, parce que la proue & la poupe se terminent exactement en pointe. Le premier navire aura précisément quatre fois plus de stabilité que le second. Car dans le premier cas, toutes les largeurs y etant égales, il faudra multiplier le cube y^3 par la longueur x du navire, pour avoir l'intégrale Sy^3dx : au lieu que dans le second, où les largeurs vont en diminuant en progression arithmétique, il faudra, pour avoir la somme de leurs cubes, ou l'intégrale Sy^3dx, ne multiplier le plus grand cube y^3 que par le quart de la longueur x du navire, qui en représente la multitude.

Il faut au surplus mettre encore ici la même restriction que ci-devant : c'est-à-dire que pour l'exacte vérité de ce

Fig. 54. que nous avançons actuellement, il eſt toujours néceſſaire que le poids de tout le navire ſe réuniſſe dans le centre de gravité de la carene. Si le poids total ſe réunit dans le point K, le moment dont il s'agit ici ne ſera plus le produit de la peſanteur p par $\Gamma g = \frac{\frac{2}{3} S y^3 dx}{p}$, mais par $Kg = \Gamma g + LK$, & ſera donc, comme on l'a déja vu, plus grand que $\frac{2}{3} S y^3 dx$ de tout le produit de la peſanteur p, par la quantité ΓK, dont le centre de gravité commun K ſera au-deſſous du centre de gravité Γ. Lorſqu'on élargira ou qu'on retrecira le vaiſſeau, il eſt naturel que ſon centre de gravité K reſte toujours dans la même place; mais la peſanteur p changeant comme les largeurs, ſon produit par $K\Gamma$ changera dans le même rapport. Ainſi les deux parties dont le moment $p \times \Gamma g \pm p \times \Gamma K$, ou $\frac{2}{3} S y^3 dx \pm p \times \Gamma K$, eſt formé, à conſiderer la choſe d'une maniere générale, ſont ſujettes à changer ſelon deux différentes loix. Pendant que la premiere partie, qui n'eſt autre choſe que la ſtabilité du navire, lorſque ſa peſanteur ſe réunit dans le centre de gravité de ſa carene, change comme les cubes des largeurs; la ſeconde partie, qu'il faut ajouter ou ſouſtraire de la premiere, ſelon que le centre de gravité K eſt au-deſſous ou au-deſſus de Γ, ne change ſimplement que comme les largeurs.

Il nous reſte à dire que quoique ce cas général ſoit plus compliqué, il eſt cependant très-facile de trouver le changement que reçoit la ſtabilité du navire dont on change toutes les largeurs proportionnellement, pourvû qu'on connoiſſe la premiere ſituation des trois points g, Γ & K, du métacentre, du centre de gravité de la carene, & du centre de gravité du vaiſſeau. La peſanteur p ſe multipliant toujours par $Kg = \Gamma g \pm \Gamma K$, nous pouvons prendre la quantité ſimple $\Gamma g \pm \Gamma K$, pour repréſenter le moment, ou la ſtabilité; & il n'y aura qu'à faire attention qu'après le changement fait aux largeurs, ce moment ſera encore exprimé par $\Gamma g \pm \Gamma K$, mais dont on aura fait changer la partie Γg, ſelon le rapport des cubes des lar-

geurs, & ΓK selon le rapport simple de ces mêmes largeurs. Supposé qu'on élargisse le vaisseau par-tout proportionnellement d'une vingt-quatrieme partie, sa stabilité deviendra plus grande dans le rapport de $\Gamma g \pm \Gamma K$ à $\frac{15625}{13824}\Gamma g \pm \frac{25}{24} LK$.

Fig. 54.

IV.

Du changement que reçoit la stabilité du vaisseau, lorsqu'on se sert de lest d'une pesanteur spécifique différente.

Enfin, sans qu'il soit nécessaire de toucher aux dimensions de la carene, on peut encore faire augmenter la force relative dont il s'agit, en se servant de lest d'une pesanteur spécifique plus grande. Il ne faudra toujours mettre dans la cale que le même poids de ce lest plus pesant; mais, comme il y occupera moins de place, son centre de gravité sera plus bas, ce qui fera descendre le centre de gravité commun K, & fera donc augmenter la seconde partie $p \times \Gamma K$ du moment total. Si, à un lest deux ou trois fois plus pesant que l'eau marine, on substitue un lest qui le soit quatre fois ou cinq fois plus, il est certain que le centre K descendra considérablement; & il le fera encore beaucoup plus, si le lest est d'une matiere encore plus pesante, quoique cette descente du centre de gravité K devienne toujours plus lente, & que la stabilité ait une limite à laquelle il n'est pas même possible qu'elle parvienne jamais. Il faudroit en effet que la pesanteur de toutes les parties du navire fût nulle, & que le lest fût au contraire d'une pesanteur spécifique infinie, pour que le centre de gravité K descendît jusqu'en E; & alors la stabilité du navire, qui n'est exprimée que par $\frac{2}{3} Sy^3dx = p \times \Gamma g$, lorsque la pesanteur totale p se réunit en Γ, seroit exprimée par $p \times \Gamma g + p \times \Gamma E$, & ne seroit donc augmentée que dans le même rapport que gE est plus grande que $g\Gamma$. On ne peut, en em-

ployant du leſt plus peſant, qu'approcher de cette plus grande force relative, ſans jamais l'atteindre : c'eſt un terme qui eſt inacceſſible, quoiqu'on doive l'avoir toujours en vue. Mais on reconnoît en même tems que les matieres viles qui ſont ſept à huit fois plus peſantes que l'eau marine, & dont on peut diſpoſer avec facilité, procureront ſenſiblement, quand on le voudra, tout l'avantage poſſible à cet égard.

CHAPITRE IX.

Examen plus particulier du changement que reçoit la ſtabilité du navire, lorſqu'on ajoute à ſa carene, ou qu'on en retranche quelque partie par en bas.

I.

LA grande importance de ce ſujet nous invite à nous en occuper davantage, & à examiner plus attentivement les effets que doit produire, non pas le changement total fait à une des trois principales dimenſions de la carene; mais l'addition particuliere, ou le retranchement de quelque eſpace peu étendu.

Il ſuit déja de l'article II. du Chapitre précédent, que lorſqu'on ajoute à la carene deux eſpaces AHE*h*, & BHE*h*, (Fig. 60.) ſans toucher aux dimenſions de la coupe horiſontale faite à fleur d'eau, & que le nouveau poids dont il faut charger le navire de plus, à cauſe du plus grand eſpace qu'il occupe dans la mer, ſe réunit dans le centre de gravité de ces eſpaces ajoutés, la ſtabilité eſt toujours exactement la même; auſſi-tôt que la peſanteur totale qu'avoit auparavant le navire, ſe réuniſſoit dans le centre de gravité de ſa carene. Car ſi l'addition des deux eſpaces augmente l'étendue de la carene, & fait changer ſon centre de gravité, l'addition du nouveau poids produira

d'un autre côté le même changement à l'égard du centre de gravité commun de tout le vaisseau, & le fera toujours concourir avec le centre de gravité particulier de la carene supposée homogène. Or il n'en faut pas davantage, aussi-tôt que la coupe horisontale faite à fleur d'eau est toujours la même, pour que le navire, malgré sa plus grande pesanteur, ou la plus grande solidité de sa carene, n'ait toujours que la même force, pour conserver sa situation horisontale. Fig. 60.

Mais ce qui est très-digne de remarque, & ce qui donne une genéralité infiniment plus grande à notre proposition, c'est qu'elle se trouve également vraie, quoique la pesanteur totale du vaisseau se réunisse dans un autre point que le centre de gravité de la carene. Nous tâcherons de nous expliquer plus clairement. *Si après avoir renflé la carene* AHEHB *par en bas, en lui ajoutant les deux parties* AHE*h* *&* BHE*h*, *qui supposées homogènes, ont leur centre de gravité en* I, *on fait ensorte que le nouveau poids dont il faudra charger le vaisseau, ait pour centre de gravité les mêmes points* I, *ou le point* K, *qui est exactement au milieu sur la ligne droite qui les joint, la stabilité du navire sera toujours précisément la même, sans qu'il importe en quel endroit soit le centre de gravité commun* G1.

Lorsqu'on ajoute à la carene les deux parties AHE*h*, & BHE*h*, que nous supposons infiniment petites, pour plus de facilité; quoique nos raisonnemens soient généraux, le centre de gravité γ1 de la carene considérée comme homogène, doit descendre, & il est évident qu'il le doit faire de la petite quantité $\Gamma 1 \Gamma 2$, qui a même rapport à $\Gamma 1$K, que les deux parties ajoutées AHE*h*, BHE*h* à toute la carene. Ainsi si la hauteur du métacentre g1 au-dessus du centre de gravité de la carene, ne devoit recevoir aucun changement, le métacentre se trouveroit ensuite en g2, & le petit espace $g1g2$, dont il seroit plus bas, seroit égal à $\Gamma 1 \Gamma 2$. Mais la hauteur du métacentre à l'égard même du centre de gravité ô 2, doit diminuer en même raison qu'on a fait croître la solidité de la

Fig. 60. carene, il est donc clair que la situation du métacentre $g1$ souffre deux petits changemens : l'un $g1g2$, qui est égal à $\Gamma1\Gamma2$ & qui est proportionnel à $\Gamma1K$; & l'autre $g2g3$, qui est proportionnel à $\Gamma1g1$ & qui a même rapport à $\Gamma1g1$ que les deux espaces AHE*h* & BHE*h* à toute la carene. Or il suit de-là que le changement total $g1g3$ est proportionnel à toute la hauteur $Kg1$; de sorte que la hauteur du métacentre par rapport au point K, diminue toujours précisément en même raison que la solidité de la carene augmente.

D'un autre côté le centre de gravité commun G1 du vaisseau, de son propre corps, de ses agreils, de sa charge, &c. doit recevoir aussi quelque changement par l'addition du nouveau poids en I & en I. Ces nouveaux poids doivent faire le même effet que s'ils étoient appliqués en K ; & ils doivent faire diminuer la hauteur KG1 de la petite quantité G1G2, en même rapport que la solidité de la carene, ou que la pesanteur du vaisseau, est plus grande qu'elle n'étoit. Mais puisque nous avons vu que $Kg1$ en devenant $Kg3$, diminue en même raison, il suit (*dividendo*) que l'excès $g1G1$ d'une de ces hauteurs sur l'autre, diminue aussi proportionnellement. La stabilité du vaisseau est donc exactement la même dans les deux circonstances, puisque la hauteur du métacentre par rapport au centre de gravité du navire, reçoit en moins précisément le même changement, que la solidité de la carene, ou que la pesanteur du navire recoit en plus ; & on sçait que le produit de deux grandeurs qui ne varient qu'en raison réciproque, est constamment le même.

On peut prouver la même vérité d'une maniere beaucoup plus simple, mais en supposant ce que nous avons dit dans le chapitre précédent, touchant les deux parties dont la stabilité du navire est formée, lorsque la pesanteur totale ne se réunit pas dans le centre de gravité de la carene. L'addition des deux parties AHE*h*, BAE*h* fait également diminuer les hauteurs $K\Gamma1$ & KG1 des centres de gravité de la carene & du vaisseau, en raison inverse

inverſe des ſolidités de la carene dans les deux états. On en conclud (*dividendo*) que les diſtances Gr2 & Giri de ces centres de gravité, ſont en raiſon réciproque des deux differentes ſolidités, ou des deux différentes peſanteurs totales du vaiſſeau, & que par conſéquent le produit de la peſanteur totale par la diſtance actuelle des deux centres, eſt toujours le même. Or c'en eſt aſſez pour que la ſtabilité ne change point; puiſque ſa premiere partie eſt toujours conſtante, & que le produit, ou le le moment dont nous venons de parler, conſtitue la ſeconde.

Fig. 60.

II.

Mais puiſque la ſtabilité du navire eſt toujours exactement la même, lorſque le nouveau poids qu'il faut ajouter à la charge ſe reunit dans le centre de gravité des eſpaces ajoutés à la carene; il eſt clair que ce ne ſera plus la même choſe auſſi-tôt que cette condition ne ſera pas remplie, ainſi que cela arrivera preſque toujours. Comme le leſt eſt au moins une fois & demie, ou deux fois plus peſant que l'eau de mer, celui qu'on ajoutera à la charge ne remplira qu'une partie des eſpaces AHE*h*, BHE*h*; & quand même il ſeroit de même peſanteur ſpécifique que l'eau, on ne l'étendroit pas juſqu'au haut A & B de ces eſpaces; mais on le rejetteroit en partie vers le milieu de la cale. L'addition qu'on eſt obligé de faire au leſt, auſſi-tôt qu'on donne une plus grande ſolidité par en bas à la carene, a donc toujours, dans les cas ordinaires & actuels, ſon centre de gravité *i* au-deſſous de celui I de l'eſpace ajouté; & il ſuit de-là que ſa force relative doit être plus grande, ou que le vaiſſeau acquiert une nouvelle ſtabilité. La force relative doit être plus grande de tout le produit du nouveau poids par la quantité K*k*, dont ſon centre de gravité *i* ſe trouve au-deſſous de I.

Si E marque l'étendue, ou la ſolidité AHEHB de la carene, & *e* l'étendue des deux parties AHE*h* & BHE*h* qu'on lui ajoute enſuite; ces étendues étant proportion-

Fig. 60. nelles & à la premiere pesanteur qu'avoit le vaisseau, & au poids qu'il faut ensuite lui donner de plus, la stabilité sera dans le premier état exprimée par ExGigi, & dans le second par Exigi+exKk. C'est-à-dire que *lorsqu'on ajoute quelque étendue à la carene par en bas, la stabilité du navire se trouve toujours augmentée ou diminuée de tout le produit du nouveau poids qu'il faut ajouter en même tems, multiplié par la quantité dont son centre de gravité est au-dessous ou au dessus de celui de l'espace ajouté.* La stabilité sera plus grande, si le nouveau poids est plus bas; & elle sera au contraire plus petite, si le nouveau poids est plus haut.

III.

Il ne nous reste plus qu'un pas à faire pour voir encore plus distinctement l'effet que doivent produire tous les changemens qu'on peut faire à la carene par sa partie inférieure. Supposons d'abord qu'elle ait la forme ABPP (Fig. 61.) & que ne changeant toujours rien à ses largeurs par en haut, on l'accroisse par en bas des deux petits triangles rectilignes, ou mixtilignes OP*p*, qui sont égaux, en augmentant le plat PP des varangues de la petite quantité P*p* par chaque extrémité. La carene occupant ensuite un plus grand espace dans la mer, il faudra donner à la charge, ou au lest, un plus grand poids, & la pesanteur de ce poids ajouté doit être égale à celle du volume d'eau dont les deux triangles OP*p* occupent la place. Mais si la matiere du lest se trouve, par exemple, six fois plus pesante que l'eau marine, le poids ajouté, au lieu d'occuper entierement les petits triangles OP*p*, n'en occupera que la sixieme partie. Je suppose que ce nouveau lest se trouve comme ramassé autour des points I I, & que sa pesanteur se réunisse dans ces mêmes points. La stabilité du navire (selon l'Article I.) ne sera nullement augmentée: mais il faudra nécessairement achever de remplir les triangles OP*p*, OPp, & ce doit être avec le premier lest qui parvenoit auparavant dans la cale jusqu'à

la ligne MM, & qui ne parviendra plus ensuite que jusqu'à *m m*, après que toute la quantité MM*mm* aura été employée à occuper le reste des deux espaces triangulaires OP*p*. Or cette simple transposition fera augmenter la stabilité du navire, parce que le poids sera appliqué plus bas qu'il n'étoit, ou qu'il sera appliqué à un bras de levier plus long; & son moment se trouvera plus grand de tout son produit par la quantité dont son centre de gravité sera plus bas.

Fig. 61.

Comme ce lest transposé n'occupe pas les espaces triangulaires entiers, mais seulement les cinq sixiemes, ou cinq fois plus d'espace que n'occupe le lest ajouté, & qui environne immédiatement les centres de gravité I, I, sa pesanteur sera représentée par cinq fois l'étendue des deux petits triangles, à proportion de celle du lest ajouté, qui n'est représentée que par l'étendue même de ces triangles. D'un autre côté, il aura également pour centre de gravité les points I, I, dans chaque espace: car ayant supposé le nouveau lest tellement recueilli autour des points I, I, qu'il a ces deux points pour centre de gravité, l'espace qui reste autour doit avoir encore les mêmes points pour centres. Ainsi la stabilité du navire sera simplement augmentée du produit de lest transposé, multiplié par KH, qui est la quantité dont il est porté plus bas. Si nous nommons, comme ci-devant, E l'étendue entiere AOPPOB, & *e* celle des deux espaces triangulaires, nous aurons toujours pour la stabilité du navire dans le premier état, $E \times Gg$, produit de l'étenduë E, qui représente le poids total, par la quantité G*g* dont le centre G est au-dessous du métacentre *g*: mais dans le second état, la stabilité sera augmentée du produit de la pesanteur du lest transposé, qui est égale à $5e$, multipliée par KHC; c'est-à-dire qu'elle sera $E \times Gg + 5e \times HK$.

Si le lest, au lieu d'être six fois plus pesant que l'eau de mer, ne l'est que trois fois plus, le nouveau lest qu'il faudra ajouter lorsqu'on augmentera l'étendue de la carene, occupera le tiers des deux petits triangles PO*p*. Il reste-

Fig. 61. ra donc les deux autres tiers qu'il faudra remplir avec une double quantité d'ancien lest, & qui pesera par conséquent deux fois plus. Ainsi la stabilité sera augmentée de $2e \times HK$, produit de H K par $2e$, qui est alors la pesanteur du lest transposé, double de celle du lest ajouté. Si le lest est deux fois plus pesant que l'eau marine, on verra de la même maniere que la stabilité du navire sera augmentée par l'addition des deux triangles P O p, de $e \times HK$, qui est le produit de HK, par l'étendue simple de ces deux triangles. Enfin, nous avons ce théoreme général qui doit être d'un grand usage, & qui répand un nouveau jour sur toute cette matiere, que *si* n *exprime le nombre de fois dont la pesanteur specifique du lest est plus grande que celle de l'eau marine, la stabilité du vaisseau, qui étoit exprimée par* $E \times Gg$, *reçoit par l'addition des deux petits triangles* OPp, *ou de tout autre espace ajouté vers le bas de la carene, une augmentation toujours exprimée par le produit du multiple* n—1 *de l'étendue* e *de ces espaces multipliés par la quantité verticale* HK, *dont leur centre de gravité commun* H *est au-dessous de la surface superieure du lest, ou au-dessous (pour parler dans la derniere précision) du centre de gravité de* M M m m.

Il n'est pas, je crois, nécessaire d'avertir que ce théoreme n'a lieu que lorsque les espaces ajoutés à la carene ne sont pas au-dessus de la surface supérieure du lest. Si ces espaces étoient ajoutés au niveau de cette surface, il ne se feroit aucune transposition de lest qui le portât plus bas; & le nouveau lest qu'il faudroit ajouter, n'augmenteroit aussi en rien la stabilité, qui resteroit donc la même à cet égard, conformément au théoreme. Mais si les petits espaces qu'on ajoute à la carene sont au-dessus de la surface du lest, on gagne alors réellement, parce que le lest qu'il faut joindre à l'ancien, ne se met pas dans ces espaces mêmes, mais s'étend sur l'ancien. C'est pourquoi la stabilité du navire est augmentée du produit des espaces simplement ajoutés e, par la quantité dont leur centre de gravité est élevé au-dessus de la surface du lest.

IV.

Il réfulte de tout ce qu'on vient de dire, qu'il y a toujours réellement de l'avantage, & un avantage confidérable à augmenter la folidité de la carene par en bas & par les côtés, comme dans les figures 60 & 61; & il eft également clair qu'auffitôt que fes plus grandes dimenfions font déja fixées, fa longueur, fa plus grande largeur, fa profondeur, on ne peut pas lui donner de forme préférable à celle d'un parallelipipede rectangle; puifqu'en ajoutant continuellement de nouvelles parties AHEh, ou OP*p*, on confere toujours au vaiffeau une nouvelle ftabilité. Toutes les figures feroient abfolument indifférentes, ou également parfaites, nous le répetons encore, fi le nouveau poids qu'il faut néceffairement donner de plus à la charge, quand on augmente la carene, étoit placé dans le centre de gravité de l'efpace ajouté, ou fi toute la maffe du left ne defcendoit pas: mais auffi-tôt qu'on ne peut pas fe difpenfer de mettre le poids plus bas, il y aura toujours à gagner du côté de la grandeur du moment, ou de cette force avec laquelle le navire conferve fa fituation horifontale. On a donc ici des moyens infaillibles de corriger les projets qu'on aura trouvé défectueux, ou qui n'auront pas pû foutenir l'examen expliqué dans le Chapitre VI, & on le pourra faire avec le même fuccès, foit qu'on touche à la largeur de la carene, foit qu'on touche à fa profondeur, foit enfin qu'on ne faffe que changer la pefanteur fpécifique du left. On a vû combien ce dernier moyen eft efficace; & il ne faut pas douter que certains vaiffeaux qu'on regarde comme inutiles, ne devinffent très-capables d'aller en mer, fi on leur donnoit un left entierement de fer.

Fig. 60 & 61.

V.

Pour revenir aux dimenfions de la carene, la largeur, telle qu'elle eft fournie actuellement par les regles ordinaires, eft accommodée à la groffeur de l'artillerie, & au

nombre d'hommes dont on veut que l'équipage soit formé ; de sorte qu'on peut dire qu'aussitôt qu'on se propose de faire un vaisseau d'un certain rang, ou d'un certain nombre de canons, sa largeur est comme *donnée* : elle l'est par toutes les conditions ajoutées par l'usage auquel on destine le vaisseau. Mais qu'on s'arrête à la largeur qu'on voudra, il n'y aura toujours, pour rendre le navire plus stable, qu'à donner plus de profondeur á sa carene, ou qu'à la grossir par en bas, en donnant plus de plat à ses varangues. On pourroit enfin augmenter la profondeur à l'infini, & avec avantage ; au lieu qu'il y a toujours du risque à la trop diminuer. Ainsi s'il nous reste quelque chose à faire, c'est de chercher cette moindre profondeur qui sert de terme, ou celle qu'il faut au moins donner au navire pour le mettre en sureté.

CHAPITRE X.

Déterminer la moindre profondeur qu'on peut donner à la carene des vaisseaux qui sont très-chargés par en haut, pour que leur centre de gravité soit effectivement au-dessous du métacentre.

I

IL s'agit, principalement dans les plus grands vaisseaux, de faire ensorte que leurs batteries ne soient pas noyées, ou qu'elles soient assez élevées au-dessus de la surface de la mer. Nous commencerons par remplir d'abord cette condition qui occupe aujourd'hui si fort, & avec raison, les Constructeurs. Nous regarderons comme donnée la quantité dont le bord du vaisseau doit être élevé au-dessus de l'eau ; & nous travaillerons ensuite à remplir les autres vues. Nous venons de reconnoître que plus les coupes de la carene faites perpendiculairement à la longueur,

approchent d'avoir la figure de rectangles, plus le vaisseau a de stabilité. Nous ne sçaurions donc mieux faire que de lui attribuer la forme d'un parallelipipede rectangle; cela n'empêchera pas que l'examen que nous allons entreprendre, ne nous fournisse des vues générales, qui auront leur application aux vaisseaux de toutes les figures.

Je suppose que AEB (Fig. 62.) est la carene du vaisseau, ou plutôt sa coupe verticale faite perpendiculairement à sa longueur; c'est-àdire que AB est la longueur ou la grandeur du bau, & FE est le creux, ou la profondeur. Je regarde comme déja determinée la longueur du vaisseau, de même que la largeur AB, le nombre de ses ponts, son artillerie, les dimensions de sa mâture, la hauteur des ponts au-dessus de la surface de l'eau. Tout cela constitue le vaisseau d'un certain rang, ou d'une certaine grandeur, & il s'agit simplement de trouver la profondeur FE que doit avoir la carene. Les dimensions en un mot de tout ce qui doit être au-dessus de la surface de l'eau, sont arrêtées, & il n'est question que de determiner la grandeur de la carene qu'on doit mettre en-dessous. Sa profondeur doit être au moins assez grande pour que la *poussée verticale* de l'eau puisse soutenir la pesanteur de toutes les choses que nous venons de spécifier. Mais il s'agit de trouver de combien on doit l'augmenter encore, afin que la partie submergée étant plus grande que ne l'exige la pesanteur particuliere du vaisseau, on puisse mettre dans la cale, s'il le faut, une certaine quantité de lest, & faire ensorte que le centre de gravité du tout se trouve au-dessous du métacentre. Je nomme c la moindre profondeur que puisse avoir la carene; cette profondeur qui lui est nécessaire pour que la pesanteur particuliere du vaisseau sans lest, ne vainque pas la poussée verticale de l'eau. Je nomme a la demi-largeur de la carene; b la quantité GF, dont le centre de gravité particulier du vaisseau, de son artillerie & de ses agreils, est élevé au-dessus de la surface de l'eau: la situation de ce centre pourra toujours se trouver aisément par les calculs du chapitre V. puisque tou-

Fig. 62.

tes les parties du vaisseau qui forment principalement la pesanteur, sans même excepter la carene jusqu'à la profondeur c, sont données ; & à l'égard de ce qui est au-dessous de ce terme, on peut le confondre avec le lest. On rendra d'ailleurs b plus ou moins grande, selon qu'on voudra que le vaisseau soit plus ou moins élevé au-dessus de l'eau. Enfin je designe par m & n le raport de la pesanteur spécifique du lest à celle de l'eau de mer, & par x la profondeur inconnue F E que doit avoir la carene, ou la seule partie sujette à se plonger.

II.

Solution analytique.

Puisque la pesanteur du vaisseau, dans ses différens états, est proportionelle à la solidité de ses parties submergées, & que ses parties, à cause de la forme de la carene en parallelipipede rectangle, sont exactement proportionnelles à leurs profondeurs, nous pouvons exprimer la pesanteur particuliere du vaisseau, de son artillerie, & de ses agreils par c, & la pesanteur particuliere du lest par l'excès $x-c$ d'enfoncement qu'il produit. Mais quoique la pesanteur du lest soit exprimée par $x-c$, ce n'est pas à dire pour cela qu'il occupera dans la cale toute la hauteur $x-c$. Il l'occuperoit s'il étoit de même pesanteur que l'eau de mer; mais comme il est plus ou moins pesant, dans le rapport de m à n, il doit occuper une hauteur EK plus petite ou plus grande, dans le même rapport, & il est évident que cette hauteur sera exprimée par $\frac{n}{m} \times \overline{x-c}$. Le centre de gravité H du lest doit se trouver au milieu de cette hauteur, c'est-à-dire qu'il sera élevé au-dessus de la quille, ou du fond de la carene, de $\frac{n}{2m} \times \overline{x-c}$; & puisque la pesanteur qui se réunit dans ce centre,

centre est représentée par $x - c$, nous aurons $\frac{n}{2m}$ Fig. 61.
$\times \overline{x^2 - 2cx + c^2}$ pour son moment par rapport à la quille. Il est encore plus facile de trouver l'expression du moment de la pesanteur particuliere du vaisseau qui se réunit dans le centre de gravité G. Ce centre est élevé au-dessus de la surface de l'eau de la quantité GF $= b$, & sa hauteur au-dessus du fond de la carene, est donc $b + x$. Or n'y a qu'a multiplier cette hauteur par l'enfoncement c de la carene, qui exprime la pesanteur particuliere du vaisseau, auquel il ne manque que son lest, & il viendra $bc + cx$. Enfin ajoutant ce moment avec celui $\frac{n}{2m} \times \overline{x^2 - 2cx + c^2}$ du lest, & en divisant la somme $bc + cx + \frac{n}{2m} \times \overline{x^2 - 2cx + c^2}$ par celle des pesanteurs, ou par x qui la représente; puisque x est la somme de c & de $x - c$, & qu'il désigne l'enfoncement total de la carene: nous trouverons $\frac{bc + cx + \frac{n}{2m} \times \overline{x^2 - 2cx + c^2}}{x}$ pour la hauteur EG1 du centre de gravité G1 commun du vaisseau & de son lest, &c.

Ainsi il n'est plus question que de chercher l'expression de la hauteur Eg du métacentre g, & de faire ensorte que cette hauteur soit plus grande que la précédente. Selon ce qu'on a vu au commencement du Chapitre IV, la hauteur du métacentre g au-dessus du centre de gravité de la carene considerée comme homogene, est $\frac{a^2}{3x}$, & puisque ce dernier centre, qui est au milieu de la profondeur x, est déja élevé de $\frac{1}{2}x$, nous aurons $\frac{a}{3x} + \frac{1}{2}x$ pour la hauteur totale Eg du métacentre au-dessus du fond de la carene; c'est donc cette hauteur qui doit nécessairement être plus grande que celle EG1 $\left(= \frac{bc + cx + \frac{n}{2m} \times \overline{x^2 - 2cx + c^2}}{x}\right)$ du centre de gravité G1 commun du vaisseau & de son lest. C'est-à-dire que

Rr

Fig. 62.

nous aurons $\frac{a^2}{3x} + \frac{1}{2}x > \frac{bc + cx + \frac{n}{2m} \times \overline{x^2 - 2cx + c^2}}{x}$, ou si k désigne la quantité précise dont on veut que le métacentre soit au-dessus du centre de gravité commun G1, on aura $\frac{a^2}{3x} + \frac{1}{2}x = k + \frac{bc + cx + \frac{n}{2m} \times \overline{x^2 - 2cx + c^2}}{x}$, dont on tirera la formule . . . .

$$x = \frac{mk + \overline{m - n} \times c + \sqrt{\overline{m - n} \times 2mbc - \overline{m + n} \times \frac{2}{3} ma^2 + \overline{m - n} \times 2mkc + m^2k^2 + \overline{m - n} \times mc^2}}{m - n}$$

qui satisfait à la question.

Si cependant le lest étoit de même pesanteur spécifique que l'eau marine, je crois qu'il vaudroit mieux chercher la valeur de x immédiatement dans l'équation $\frac{a^2}{3x} + \frac{1}{2}x = k + \frac{bc + cx + \frac{n}{2m} \times \overline{x^2 - 2cx + c^2}}{x}$, que dans la formule même. Alors $m = n$, & le Problême devient simple; on trouve $x = \frac{\frac{1}{3}a^2 - bc - \frac{1}{2}c^2}{k}$, qui nous apprend que $\frac{1}{3}a^2$ doit être absolument plus grande que $bc + \frac{1}{2}c^2$, & qu'aussitôt que cette condition a lieu, le centre de gravité commun du vaisseau & de la charge, est toujours, comme il le doit être, au-dessous du métacentre. Il l'est en effet de la quantité $k = \frac{\frac{1}{3}a^2 - bc - \frac{1}{2}c^2}{x}$, que la condition que nous venons de spécifier rend nécessairement positive; au lieu que si $\frac{1}{3}a^2$ étoit moindre que $bc + \frac{1}{2}c^2$, la quantité k deviendroit négative, & par conséquent le métacentre ne se trouveroit plus au-dessus du centre de gravité commun G1 du vaisseau & de sa charge, mais au-dessous; ce qui causeroit la perte inévitable du vaisseau. Ainsi il faudroit alors refondre le projet dès le commencement: il faudroit ou diminuer le nombre des ponts, ou rendre l'artillerie beaucoup moins pesante, ou enfin augmenter la demi-largeur a de la carene.

Nous ne pouvons pas nous empêcher de le repeter, qu'en

même-tems que cette condition de $\frac{1}{3}a^2$ plus grande que $bc + c^2$ est indispensable dans la supposition que le lest ne pese pas plus que l'eau marine, son observation fait tout; puisqu'aussi-tôt qu'elle a lieu, le centre de gravité G₁ est nécessairement au-dessous du métacentre, quelque profondeur qu'on donne à la carene : de sorte qu'alors il n'y a point à se tromper. Cette regle doit être d'un usage d'autant plus étendu & applicable aux vaisseaux qui ont une figure plus différente du parallelipipede rectangle, qu'elle est tirée du cas même le moins favorable ; car le lest aura ordinairement une pesanteur spécifique presque double de celle de l'eau marine, & quelquefois trois ou quatre fois plus grande ; ce qui donnera au navire une nouvelle force pour conserver sa situation horisontale. On sçaura donc si un projet de vaisseau doit réussir par ce simple calcul. *On ajoutera la quantité* (b), *dont son centre de gravité particulier est élevé au-dessus de l'eau, avec la moitié de la moindre profondeur* (c), *que doit avoir la carene, pour que la mer puisse soutenir le navire, lorsqu'il n'a point de charge étrangere : on multipliera cette somme par la moindre profondeur* (c), *& il ne restera plus qu'à voir si le produit* ($cb + \frac{1}{2}c^2$) *est effectivement moindre que le tiers du quarré de la demi-largeur* (a) *du vaisseau.*

Fig. 61.

Cet examen ne sera absolument nécessaire que pour les plus grands navires, dans lesquels les Constructeurs sont le plus sujet à ne pas réussir ; c'est pour cela que nous prendrons pour exemple un vaisseau du premier rang. Je suppose qu'on a déja cherché de combien doit être la moindre profondeur de la carene pour soutenir le poids de sa mâture, de ses agreils, de son artillerie, des ponts, des dunettes, de l'équipage même, & qu'on examine en même tems combien le centre de gravité de toutes ces choses est élevé au-dessus de l'eau. Si la moindre profondeur est de 10 pieds, & la hauteur du centre de gravité de 11, pendant que la largeur du vaisseau est de 48 ; on aura $a = 24$; $c = 10$, & $b = 11$: & comme le tiers 192 du quarré de a est considérablement plus grand que 160, qui est la valeur de $bc + \frac{1}{2}c^2$, ce sera une marque que le projet peut réussir, &

qu'on peut donner à la carene quelle profondeur on voudra, plus grande que c. Lorsque $\frac{1}{3} a^2$ surpassera $bc + \frac{1}{2} c^2$ d'une moindre quantité, il y aura moins de sûreté, & il faudra quelquefois se résoudre à retrancher quelque chose des parties supérieures du vaisseau, à moins qu'on ne puisse remedier au mal, comme nous l'avons dit, en faisant le lest d'une plus grande pesanteur spécifique.

III.

Construction géométrique du Problême.

On peut, pour répandre un plus grand jour sur toute cette matiere, représenter les hauteurs du centre de gravité commun du vaisseau & de son lest, à peu près de la même maniere que nous avons représenté celles du métacentre, dans le Chapitre VII. * On se ressouvient que les hauteurs de ce dernier point sont représentées par les ordonnées eg, Eg d'une hyperbole ggg, (Fig. 63.) comparée à la droite FD, dont les parties FE, FD, représentent les profondeurs variables du vaisseau. L'hyperbole ggg a pour asymptotes les lignes FB & FM; & pendant que mg, ou Mg, marque la hauteur qu'a le métacentre, par rapport au centre de gravité de la carene supposée homogene, les parties em & EM, qui sont proportionnelles aux profondeurs Fe ou FE, marquent la quantité dont ce dernier point est élevé au-dessus du fond de la carene; de cette sorte les ordonnées entieres eg ou EG, marquent les hauteurs complettes du métacentre au-dessus de ce même fond. Dans le cas que nous examinons actuellement, les hauteurs du métacentre sont exprimées par $\frac{a^2}{3x} + \frac{1}{2} x$, le second terme répond à em, ou à EM, & le premier à mg, ou à Mg.

* Article IV.

Fig. 63.

Nous avons trouvé d'un autre côté que la hauteur du centre de gravité commun du vaisseau & de la charge est représentée par $\frac{cb + cx + \frac{n}{2m} \times \overline{x^2 - 2cx + c^2}}{x}$, à laquelle on

Fig. 63.

peut donner cette forme $\frac{m-n}{m} \times c + \frac{n}{2m} x + \frac{\frac{n}{2m} c^2 + cb}{x}$ qui contient trois termes distincts, dont le premier est absolument constant ; le second proportionnel à la profondeur de la carene, & le troisieme suit la raison inverse de cette même profondeur. Je représente le premier terme par les constantes el, ou EL, terminées entre FD & la parallele CL, qui en est éloigné de la distance $FC = \frac{m-n}{m} \times c$. Je viens à bout de représenter le second terme $\frac{n}{2m} x$ par lk, ou LK, en tirant du point C la ligne CI, de maniere que CL soit à LK, comme $2m$ est à n; & enfin le troisieme terme $\frac{\frac{n}{2m} c^2 + cb}{x}$, est représenté par les parties kG, ou KG, qui se terminent à l'hyperbole GGG, qui a CB & CI pour asymptotes, & dont $\frac{n}{2m} c^2 + bc$ est la puissance. Ainsi les ordonnées entieres eG, EG marquent les hauteurs du centre de gravité commun du vaisseau & de son lest au-dessus du fond de la carene, pour toutes les différentes suppositions, ou hypothèses de profondeurs de carene. On voit aisément entre toutes ces hypothèses celles qu'il faut exclure, ou celles qu'on peut adopter, parce qu'elles rendent la hauteur du centre de gravité commun plus grande ou plus petite que la hauteur du métacentre. Ces deux hauteurs ne font encore que commencer à devenir égales lorsque FE est la profondeur de la carene ; mais qu'on rende cette profondeur un peu plus grande, qu'on la fasse égale à FD, le métacentre se trouvera au-dessus du centre de gravité de toute la quantité Gg, dont Dg est plus grande que DG; & si on veut avoir la stabilité du vaisseau, il n'y aura qu'à multiplier Gg par la profondeur FD, qui est ici proportionnelle à la pesanteur totale. On n'a garde de donner cette construction du Problême pour la plus simple;

Fig. 63. mais on ne peut s'empêcher de dire qu'elle eſt la plus lumineuſe de toutes : c'eſt ce qui nous la fait choiſir.

Si la peſanteur ſpécifique du leſt eſt égale à celle de l'eau marine, nous aurons $m = n$; & l'expreſſion $\frac{m+n}{m}$

$$c + \frac{n}{2m}x + \frac{\frac{n}{2m}c^2 + bc}{x}$$

de la hauteur du centre de gravité du vaiſſeau, ſe réduira à $\frac{1}{2}x + \frac{\frac{1}{2}c^2 + bc}{x}$. Ainſi l'intervalle FC deviendra nul, la ligne CI tombera ſur FM, comme dans la figure 64, & les deux hyperboles GGG & *ggg*, qui auront les mêmes aſymptotes, ne différeront entr'elles qu'à cauſe de leur différentes puiſſances $\frac{1}{2}c^2 + bc$, & $\frac{1}{3}a^2$. Lorſque la puiſſance de la premiere GGG ſera plus grande que celle de la ſeconde *ggg*, les hauteurs du centre de gravité ſeront conſtamment plus grandes que celles du métacentre, quelque profondeur qu'on donne à la carene ; & il faudra par conſéquent retourner ſur ſes pas pour corriger tout le projet de plus loin. Mais ſi $\frac{1}{3}a^2$ eſt plus grand que $\frac{1}{2}c^2 + bc$, l'hyperbole *gg*, qui marque les hauteurs du métacentre, ſera en-dehors de l'autre hyperbole, & alors on pourra donner quelle profondeur on voudra à la carene. On ne pourra pas lui en donner une plus grande ſans ſe trouver obligé de donner auſſi plus de peſanteur au vaiſſeau ; mais comme dans ce cas particulier la quantité G*g*, dont le centre de gravité ſera au-deſſous du métacentre, diminuera en même raiſon, la ſtabilité du navire ſera toujours la même ; ce qui eſt conforme à ce que nous ſçavions déja.

Fig. 64.



CHAPITRE XI.

Trouver par une expérience très-ſimple, dans les vaiſſeaux déja conſtruits, ſi le centre de gravité a la ſituation qu'on ſe propoſoit de lui donner.

IL ſera ſans doute très-avantageux, après que le vaiſſeau ſera conſtruit & tout-à-fait armé, de pouvoir vérifier dans le port même, & avant le départ, ſi le centre de gravité & le métacentre ſont effectivement diſpoſés l'un par rapport à l'autre comme ils doivent l'être. Quelquefois pluſieurs choſes ſont arrangées & placées différemment; la conſommation des munitions dans une longue campagne va auſſi très-loin: & il eſt commode de voir tout d'un coup les changemens qui réſultent de tout cela. C'eſt ce qu'on peut toujours ſçavoir par une expérience très-ſimple, dont nous devons la premiere idée au Pere Hoſte.

Si l'on met à côté du navire OEC (Fig. 55.) en-dehors un aſſez grand poids P, à l'extrémité Q d'une piece de bois placée en travers, ce poids fera incliner le vaiſſeau juſqu'à un certain terme; juſqu'à ce qu'il y ait équilibre de part & d'autre de la direction γZ de la pouſſée verticale de l'eau, entre le poids d'un côté & la peſanteur du vaiſſeau de l'autre. Le centre de gravité commun G, eſt exactement dans la même verticale que le métacentre *g*, lorſque le navire étant laiſſé à lui-même, eſt dans ſa ſituation horiſontale. Mais à meſure que l'inclinaiſon augmente, le centre de gravité G s'éloigne de la verticale γZ du métacentre; & il eſt évident que la diſtance GT à cette ligne, eſt continuellement proportionnelle au ſinus de l'inclinaiſon, au moins lorſque le navire s'incline très-peu. Or connoiſſant cette diſtance & de plus la peſanteur totale du vaiſſeau, on aura ſon moment, ou la force relative avec laquelle cette peſan-

Fig. 55.

Fig. 55. teur travaille à rétablir le niveau. Mais puiſqu'on connoît également la ſituation & la peſanteur du poids, qui produit l'inclinaiſon, on pourra voir ſi un moment eſt égal à l'autre, celui du poids à celui de la peſanteur du navire, ou à ſa ſtabilité effective : & on reconnoîtra aiſément de cette ſorte ſi le centre de gravité a réellement la place qu'on vouloit lui donner.

On ne ſçauroit dans cette expérience meſurer l'inclinaiſon du vaiſſeau avec trop de préciſion ; car c'eſt delà que dépend tout le ſuccès de l'examen. On ſe ſervira pour cette meſure ou de la ligne qui eſt à très-peu près de niveau, que fournit l'horiſon ſenſible de la mer, ou bien d'un fil à plomb qu'on attachera vers la tête du mât, & dont on examinera en bas la diſtance au mât dans les deux états du navire, lorſqu'il eſt cenſé de niveau, & lorſqu'il eſt incliné. L'uſage du fil à plomb me paroît principalement commode, parce qu'il fournit immédiatement le rapport ſelon lequel le centre de gravité s'éloigne de la verticale du métacentre : car il eſt facile de voir que ce centre s'éloigne toujours ſenſiblement de la verticale de l'autre point, dans le même rapport que le fil à plomb s'éloigne par en bas du pied du mât. On ſera attentif auſſi pendant toute la durée de l'opération, de rendre toutes les circonſtances abſolument les mêmes, afin d'être ſûr que l'inclinaiſon produite, ne vient que de l'application du poids ſur le côté du navire. On aura ſans doute beſoin du ſecours de pluſieurs perſonnes pour diſpoſer tout ; mais il faudra les faire enſuite retourner à leur place, pendant qu'on examinera ſeul la diſtance du fil à plomb, & qu'on prendra les autres meſures. La peſanteur de deux ou trois perſonnes, & quelquefois de huit ou dix, peut ſe négliger dans cette rencontre : au lieu que le poids de tous les hommes qui forment l'équipage, doit produire des changemens ſi ſenſibles, que je crois qu'on pourroit s'en ſervir dans les expériences, comme de celui dont on diſpoſe le plus aiſément,

ſément, ou qu'il eſt le plus facile de faire paſſer d'un endroit à l'autre. Fig. 55.

On apprendroit par le même moyen la ſituation du centre de gravité du Vaiſſeau, ſi on ne connoiſſoit ſeulement que celle du métacentre. Car ſçachant la quantité du poids P qui produit l'inclinaiſon, & examinant ſa diſtance RZ au métacentre, ou à la verticale qui paſſe par ce point, & ſur laquelle s'exerce la pouſſée de l'eau; on a ſon moment, ou ſa force relative qui eſt égale, à cauſe de l'équilibre, à celle de la peſanteur du Navire, ou à ſa ſtabilité. Ainſi il n'y a qu'à diviſer ce moment par la peſanteur totale du Vaiſſeau, & il viendra au quotient la quantité dont le centre de gravité G eſt éloigné de la verticale γZ du métacentre. Si le poids qui fait incliner le Navire eſt de 5 tonneaux, & qu'il ſoit éloigné de 30 pieds de la direction γZ, ſon moment ſera exprimé par 150, & ſi on diviſe ce moment par la peſanteur totale du Navire, que je ſuppoſe de 1800 tonneaux, on apprendra que le centre de gravité eſt éloigné de la verticale γZ de $\frac{1}{60}$ pied, ou d'un pouce. Il ſera facile après cela de découvrir combien le centre de gravité eſt au-deſſous du métacentre g: puiſque, comme nous l'avons déja vu, il y a toujours même rapport de la quantité dont le fil à plomb s'éloigne par en bas du pied du mât, à la hauteur même du mât, que de l'intervalle GT (1 pouce) qu'il y a entre le centre de gravité G & la verticale γZ du métacentre, à la quantité Gg, dont un de ſes points eſt au-deſſous de l'autre. Si le fil à plomb, ſur une longueur de 50 pieds, s'éloigne du mât par en bas d'un pied, on aura cette proportion; 1 eſt à 50, comme la diſtance (1 pouce) du centre de gravité à la verticale du métacentre, eſt à 50 pouces, ou à 4 pieds 2 pouces, pour la quantité requiſe Gg, dont le centre de gravité eſt au deſſous de l'autre point. On peut remarquer que pour rendre cette détermination exacte, il n'eſt pas néceſſaire d'une connoiſſance bien préciſe de la ſituation du métacentre: on pourra ſouvent ſuppoſer ce point au milieu de la largeur

OC du premier pont. Plus aussi le poids dont on se servira pour faire incliner le Vaisseau, sera petit, plus il faudra le mettre à une grande distance ; & plus l'erreur de quelques pouces qu'on pourra commetre sur sa distance horisontale au métacentre, deviendra insensible.

Enfin dans le cas même où l'on ne connoîtra ni la situation du centre de gravité ni celle du métacentre, l'expérience dont il s'agit aura au moins cette utilité très-considérable, d'apprendre si ces deux points sont toujours disposés de la même maniere, l'un par rapport à l'autre. On se trouvera de cette sorte en état de profiter des tentatives qu'on aura faites dans les autres voyages, & de retrouver aisément cette disposition du Vaisseau qui contribue le plus à la vîtesse de son sillage, & que les Marins nomment son *assiete*. Ce n'est que par des essais répetés une infinité de fois qu'on a pû saisir jusqu'à présent cette disposition. Quoique les Constructeurs n'oublient jamais de marquer dans leur plan la *ligne d'eau*, ou la ligne jusqu'à laquelle ils se proposent de faire caler leur Navire, il n'est que trop vrai qu'ils n'ont aucune méthode réelle pour reconnoître s'il ne seroit pas plus avantageux qu'il plongeât plus ou moins, & qu'ils ignorent également combien il doit plus enfoncer par la poupe que par la prouë ; témoin la regle que nous avons refutée dans le Chapitre X de la premiere Section du premier Livre. C'est pourquoi il faut souvent en Mer se donner de si grandes peines, & quelquefois inutilement, pour trouver l'état dans lequel un Navire single le mieux.

Il s'est quelquefois trouvé des Marins qui ont réussi d'une maniere toute particuliere dans cette recherche. Je vis en passant à Brest, à la fin de 1730, qu'on y convenoit assez généralement que feu M. le Chevalier de Goyon * qui vivoit alors, étoit plus heureux, ou plus adroit qu'un autre dans ces sortes de tentatives. Bien persuadé que ses essais pouvoient lui servir dans les occasions les plus importantes, il faisoit faire dans son Vaisseau une infinité de

*Capitaine de Vaisseau & Commissaire Général d'Artillerie.

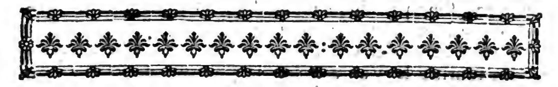
différens changemens, jusqu'à ce qu'il parvenoit à lui donner une disposition avantageuse qu'on ne lui avoit point encore vue. Il mettoit tout en mouvement, il essayoit toutes les situations ; & de cette sorte il tiroit souvent partie du plus mauvais voilier. Mais malheureusement c'étoit un art tout particulier qu'avoit cet habile Officier, & des essais pareils aux siens, ou même faits avec plus de méthode, se borneront toujours à la seule utilité présente, si lorsqu'on a eu le bonheur de trouver *l'assieue*, on n'a pas le soin de la constater, & de prendre, pour ainsi dire, des repaires, pour pouvoir la retrouver infailliblement une autre fois. Ce n'est pas assez de se souvenir en général, que tel Navire demande à être plus chargé vers l'arriere que vers l'avant, ou qu'il faut sur-tout bien prendre garde de ne pas *rendre ses hauts trop pesants*. Des connoissances aussi vagues, dont on s'est contenté jusqu'à présent, n'empêchent pas qu'on ne soit obligé de recommencer un nouveau tâtonnement chaque campagne, & même sans être sûr de réussir.

Fig. 54.

Tous les Vaisseaux ayant sur leur étrave & sur leur étambot une espece *d'échelle*, ou de graduation en pieds & en pouces pour marquer la quantité de l'enfoncement de la prouë & de la poupe ; on peut, avec cette graduation, sçavoir toujours avec facilité, si la pesanteur totale est la même, & si elle est outre cela distribuée de la même maniere par rapport à la longueur du Vaisseau, & si le centre de gravité est plus vers l'avant ou plus vers l'arriere. Cette connoissance, qui est déja très-importante, ne suffisant pas, puisque la pesanteur totale, quoique la même, & quoique distribuée de la même maniere dans le sens horisontal, peut avoir son centre plus ou moins haut, il faut avoir recours à l'expérience que nous proposons. Les Pilotes n'oublient jamais de mentionner dans leurs Journaux de combien de tonneaux leur navire est chargé, la quantité dont il plonge ; ils n'obmettent pas même le nombre des canons dont il est armé : ils n'auront qu'à se faire une loi de spécifier aussi toujours le poids qu'il faut

mettre sur son flanc pour le faire incliner d'une quantité déterminée. Et ils pourront observer la même chose à l'égard de quelques autres particularités distinctives que nous indiquerons dans la suite.

Il semble après cela que nous n'ignorerons aucune des circonstances de la pesanteur qui contribuent à la sureté & à la perfection de la Navigation : car que connoître de plus que la quantité de cette pesanteur, & le point précis dans lequel elle se réunit ? Il ne paroît pas même que les Mathématiciens qui ont examiné le plus cette matiere, y ayent soupçonné autre chose. Nous avons cependant à pousser nos recherches encore plus loin, si nous voulons rendre notre examen complet. La pesanteur d'un Vaisseau peut être précisément la même, se réunir très-exactement dans le même centre, ou dans un point également élevé & également situé par rapport à la longueur de la carene, & que ses effets soient très-différens. Ses effets seront précisement les mêmes, tant que le Vaisseau conservera un parfait repos, ou pour parler plus exactement, tant qu'il conservera la même situation ; mais ils commenceront à devenir différens aussitôt que le Navire sera sujet à ces balancemens qu'on nomme *roulis*, qui se font d'un côté à l'autre, & qui ont même lieu, lorsque le Navire ne single pas. Si quelque cause extérieure, comme l'agitation presque continuelle de la Mer, ou le choc irregulier de quelques vagues, lui fait perdre sa situation horisontale, il y revient de lui même avec vîtesse : il contracte dans son retour un mouvement qui le fait s'incliner de l'autre côté, & ses oscillations durent quelquefois assez long-tems pour que la cause extérieure se renouvelle & agisse une seconde fois ; ce qui perpetue le mouvement. Les Lecteurs Géometres voient déja le rapport qu'ont ces balancemens avec le mouvement des Pendules qu'on a si fort examiné depuis *Galilée* & M. *Descartes*. Mais il s'en faut beaucoup que le rapport soit parfait; il admet des différences qu'on ne doit pas manquer de discuter.



TROISIEME SECTION.

De la distribution de la pesanteur du Vaisseau par rapport au mouvement du roulis.

CHAPITRE PREMIER.

Du point autour duquel le Vaisseau fait les balancemens qu'on nomme roulis, *& de la part qu'a la pesanteur dans ces balancemens.*

I.

Aussi-tôt que quelque cause extérieure a fait incliner le Navire, deux forces, comme nous l'avons assez montré, travaillent toujours à le redresser, pourvu que le centre de gravité & le métacentre soient disposés comme ils doivent l'être. L'une de ces forces est la poussée verticale de l'eau, qui agissant de bas en haut, suspend, pour ainsi dire, le Navire en le tirant en haut; & l'autre force est la pesanteur même du Vaisseau qui agit & tire en bas. Le Navire, en revenant à sa situation horisontale, doit tourner sur un certain point; & la premiere question qui se présente à résoudre, & qui est, peut-être, la plus difficile, est de determiner quel est ce point. On est d'abord tenté de croire qu'il est précisément entre les deux centres dans lesquels se reunissent la poussée de l'eau & la pesanteur du Navire; & cela, parce qu'on voit que ces deux forces qui agissent seules dans cette ren-

contre, sont parfaitement égales; les deux forces résident l'une au centre de gravité du Navire, l'autre au centre de gravité de la partie submergée; elles doivent donc faire tourner le Vaisseau sur le point du milieu. On n'a pas fait autant d'attention à cette question d'Hydrostatique qu'elle le meritoit; peu de personnes en ont traité: mais c'est sous cette même face, qui est effectivement très plausible, qu'elle s'est offerte à presque tous ceux qui l'ont examinée. Je n'ai vu enfin aucun Anteur qui ne se soit trompé dans cette recherche. Borelli a prétendu, par exemple, dans son Traité *de motu animalium*, que les corps submergés tournoient autour de leur centre de figure, & il n'en a été censuré que par quelques personnes qui tomboient dans l'autre erreur dont je viens de parler *.

Il est vrai que si deux puissances égales appliquées aux deux extremités d'un levier, agissent perpendiculairement à ce levier en sens contraire, elles le feront tourner précisement sur son milieu: car sur quel autre point le feroient-elles tourner? L'égalité parfaite qui se trouve entre les deux puissances, de même qu'entre leurs dispositions, fait qu'il n'y a pas plus de raison pour que *le centre de conversion* soit plus vers une extrémité que vers l'autre; il est donc non pas physiquement, mais métaphysiquement nécessaire qu'il se trouve au milieu. Mais ce n'est que lorsque le levier est d'une pesanteur égale dans toute sa longueur, ou que lorsqu'on fait abstraction de sa pesanteur: car s'il est plus pesant vers une extrémité, ce sera une raison pour que le centre de rotation s'en approche; puisque cette extremité sera moins facile à mouvoir, pendant que l'autre sera plus mobile. Il est clair encore que plus le centre de gravité du levier avancera vers la même extremité, ou que plus cette extremité sera pesante par rapport à l'autre, plus le centre de conver-

* Ceci étoit exactement vrai, lorsque j'écrivois. Ce n'est qu'à mon retour du Pérou que j'ai vu que M. Bernoulli avoit résolu le même Problême dans le quatrieme Tome de ses Oeuvres, publiées en 1742. M. Euler en avoit deja donné une autre solution, qui ne peut pas manquer d'être aussi très-élegante; mais elle ne m'est pas encore tombée entre les mains.

sion doit s'en approcher. Or on doit faire attention que dans le cas dont il s'agit actuellement, le centre de gravité, bien loin d'être au milieu du levier auquel la poussée de l'eau & la pesanteur du Navire sont appliquées, se trouve à l'extrémité même dans laquelle agit la pesanteur, ou l'une des deux forces. Ainsi le centre de conversion ne doit pas être au milieu, mais beaucoup plus près du centre de gravité du Vaisseau. C'est ce qu'on voit déja avec évidence; & si on examine la chose avec un peu plus d'attention, on s'appercevra que le centre de conversion est dans le centre de gravité même.

II.

Si dans la figure 65 le point g est le métacentre auquel on peut supposer qu'est attachée la force verticale de l'eau, puisque l'action d'une puissance est la même dans tous les points de sa direction, & que G soit le centre de gravité commun du Vaisseau & de sa charge; nous pouvons negliger la partie de la poussée verticale de l'eau, de même que celle de la pesanteur totale du Navire, qui agissent selon le levier même gG, pour ne considerer que les seules parties qui agissent perpendiculairement. Les deux forces absoluës, la poussée verticale de l'eau & la pesanteur totale du Navire, sont parfaitement égales; les parties de ces mêmes forces qui agissent perpendiculairement à gE, & qui ne se détruisent pas, parce qu'elles s'exèrcent sur des lignes qui ne sont pas directement opposées, le sont donc aussi: c'est-à-dire que pendant que le Vaisseau est incliné, ou que gE n'est pas verticale, le métacentre g est poussé selon gZ, précisément avec la même force que le centre de gravité G est poussé vers S. Ce sont ces deux forces relatives qui font prendre à la ligne gE, la situation verticale *ge*, en faisant tourner le Vaisseau sur le centre G, ou sur quelqu'autre point: mouvement qui ne peut pas se faire, sans que presque toutes les parties du Navire changent de place. Le point g étant transporté en *g*, & le point E en *e*, les autres points changent à

Fig. 65.

Fig. 65. proportion : & comme ils ont tous de *l'inertie*, ou qu'ils ne prennent du mouvement qu'en y resistant, la résistance que font tous les points qui sont au-dessus du centre de conversion G, fait le même effet qu'une puissance qui agiroit de M vers P dans le sens contraire au mouvement; en même tems que la resistance de tous les points qui sont au-dessous du centre de conversion, & qui se meuvent de E vers *e*, doit faire le même effet qu'une puissance égale qui agiroit de N vers Q. Cette résistance, ou cette force de *l'inertie* que *Kepler* a reconnu le premier, est incontestable. Tous les phénomenes nous l'annoncent ; elle ne se manifeste pas moins, lorsqu'il s'agit de communiquer du mouvemnnt aux corps, que lorsqu'il s'agit de le détruire: de sorte qu'elle est réellement la force avec laquelle chaque chose persiste dans sa maniere d'être, le nom *d'inertie* n'exprime qu'imparfaitement sa nature, puisqu'il ne repond bien qu'à une de ses proprietés.

Nous avons donc en tout quatre forces à considerer; sçavoir, les deux premieres qui agissent selon gZ & selon GS, & les deux secondes qui s'exercent selon MP & NQ, & qui ne sont que passives, puisqu'elles ne doivent leur action qu'à celle des deux premieres. Il est évident que ces quatres forces doivent être dans un parfait équilibre. Car ce n'est que cet équilibre qui peut limiter l'effet des deux premieres puissances, & qui peut l'empêcher d'être plus grand, par cette loi de la Nature qui est toujours inviolablement observée, que l'action & la réaction sont égales. Or pour que les quatre forces dont il s'agit, soient effectivement en équilibre, il faut que la force composée des deux qui agissent selon les directions paralleles gZ & NQ, soit parfaitement égale à la force composée des deux autres qui agissent sur les directions GS & MP, paralleles entr'elles, & directement contraires à gZ & à NQ. Et si l'on fait attention que ces forces composées sont égales à la somme des forces qui les composent, à cause du parallelisme des directions, & qu'outre cela la force qui agit selon gZ, & qui naît de la

la poussée de l'eau, est parfaitement égale à la force qui agit selon GS, & qui naît de la pesanteur totale du navire, on conclura que les deux autres forces, qui agissent selon MP & NQ, doivent être aussi nécessairement égales. C'est-à-dire que la quantité du mouvement que reçoivent toutes les parties qui sont au dessus du centre de conversion, doit être égale à la quantité de mouvement que reçoivent les parties qui sont au-dessous.

Fig. 65.

III.

Ainsi la question se réduit à découvrir quel est le point autour duquel il faut que tourne un corps, pour que les quantités de mouvement que reçoivent les parties supérieures & inférieures, soient toujours parfaitement égales. Mais comme tous les lecteurs qui sont un peu versés dans les Méchaniques, sçavent qu'il n'y a que le centre de gravité qui ait cette proprieté singuliere, par laquelle il est même caracterisé, le Problême est tout résolu; il n'est plus permis de douter que ce ne soit autour de son centre de gravité que le vaisseau fait ses balancemens. S'il étoit possible qu'il les fît autour de quelqu'autre point au-dessus de G, le mouvement que recevroient les parties inférieures, seroit plus grand que celui que recevroient les supérieures, & il n'y auroit plus d'équilibre; la résistance, ou la force, selon NQ, seroit trop grande, & elle retarderoit le transport de toutes les parties GE; ce qui feroit nécessairement descendre le centre de conversion. Il arriveroit tout le contraire, si le vaisseau tournoit d'abord autour de quelque point situé au-dessous de G. Ce n'est enfin que lorsque le mouvement se fait exactement autour du centre de gravité, que le centre de conversion ne change point. Il faut remarquer qu'on néglige ici la résistance que fait l'eau aux balancemens du navire; de même qu'on néglige ordinairement la résistance que fait l'air au mouvement des pendules. Cette résistance est comme nulle, par

Fig. 65. rapport aux autres forces que nous considérons, parce que quelque grandes que soient les oscillations du navire, il n'a jamais, à cause de sa figure, que peu d'eau à déplacer, & qu'il ne la choque qu'avec assez peu de vîtesse. On suppose encore que les inclinaisons alternatives ne sont pas assez grandes pour que le métacentre change sensiblement de hauteur par rapport au centre de gravité.

III.

Aussi-tôt qu'on s'est convaincu que le vaisseau fait ses balancemens autour de son centre de gravité, on voit évidemment que la pesanteur ne doit plus tendre à le faire tourner, elle ne travaille qu'à conserver au point G sa stabilité; & les balancemens ne sont produits que par la seconde puissance qui agit selon gZ, & qui naît de la force verticale qu'a l'eau pour pousser en haut. Cette puissance agit contre l'inertie, ou contre la résistance que font toutes les parties du vaisseau à se mouvoir, ou à tourner autour du centre de gravité G; mais cette puissance, quoique la même, aura plus d'avantage pour vaincre cette inertie, & pour faire balancer le vaisseau avec vîtesse, toutes les fois qu'elle sera appliquée à un bras de levier Gg plus long. Ainsi on voit que toutes les autres circonstances étant les mêmes, plus le centre de gravité du vaisseau sera bas, plus les mouvemens du roulis doivent être prompts. Ceci est d'autant plus paradoxe, qu'il semble que ce qu'on sçait du mouvement des pendules, dont la longueur rend les vibrations plus lentes, devoit faire attendre autre chose. Mais ce que la théorie vient de nous apprendre avec évidence, l'expérience l'a déja confirmé une infinité de fois, au grand étonnement de plusieurs personnes. On est obligé dans plusieurs occasions, de mettre dans la cale une partie de l'artillerie, & des autres choses pesantes qui sont sur le pont; mais on n'a jamais manqué d'éprouver sur le champ que les oscillations du roulis acqueroient une plus grande promptitude.

V.

Sans changer le centre de gravité de place, on peut encore faire varier la durée des balancemens du vaisseau, selon la situation qu'on donnera aux parties plus ou moins pesantes par rapport à ce centre. Si on éloigne de part & d'autre les choses qui ont le plus de poids, & qu'on rapproche au contraire les plus legeres, ces parties plus pesantes auront ensuite plus de mouvement à prendre dans les oscillations du navire ; elles résisteront par conséquent davantage par leur inertie ; & outre cela cette résistance sera appliquée à un bras de levier plus long. C'est une double raison pour que les oscillations se fassent ensuite avec moins de promptitude. Si les choses pesantes sont à deux ou trois fois plus de distance, elles résisteront quatre fois ou neuf fois davantage. Ce sera tout le contraire, lorsqu'on approchera de part & d'autre du centre de gravité les parties d'un grand poids, & qu'on en éloignera les legeres : car les parties pesantes n'ayant ensuite que des arcs de petit cercle à décrire, ou que peu de mouvement à recevoir, elles feront moins ressentir leur inertie, & les vibrations deviendront donc plus promptes. Cependant le centre de gravité sera toujours dans le même endroit, & l'action de la pesanteur totale sera absolument la même, tant qu'il ne s'agira pas des mouvemens que nous considérons actuellement. On reconnoît donc maintenant la vérité de ce qu'on a avancé ci-devant, qu'il ne faut pas se contenter d'examiner la quantité de la pesanteur totale du vaisseau, & la situation du centre dans lequel elle se réunit ; mais qu'il y a encore une troisieme particularité à laquelle il faut être extrêmement attentif, sçavoir à la distribution des parties plus legeres & plus pesantes, dont cette pesanteur est formée.

VI.

On peut au reste constater toujours fort aisément cette distribution, & reconnoître si elle ne change pas pendant

le voyage, ou si elle est la même dans une campagne que dans une autre; afin de pouvoir ensuite y apporter les modifications convenables. On ne manque jamais dans les vaisseaux d'avoir pour les besoins indispensables du Pilotage, plusieurs horloges ou sabliers d'une minute, ou d'une demi-minute. Il est toujours facile, après qu'on s'est assuré par les moyens déja expliqués, que la pesanteur du navire est la même, & qu'elle se réunit exactement dans le même centre, de voir combien le roulis fait faire de balancemens ou d'oscillations dans une minute, ou dans tout autre tems. S'il en fait toujours faire le même nombre, ce sera une marque que la distribution des choses pesantes & legeres, sera exactement la même; au lieu que si l'on y trouve de la différence, on apprendra non-seulement que la distribution est différente, on sçaura ce qu'il y aura à y changer. Il faudra pour faire l'expérience avec succès, choisir exprès le tems où la mer est peu agitée; car ce n'est qu'alors que les oscillations du vaisseau sont sensiblement isochrones. Il est bien clair que si pendant que le vaisseau *roule*, une force étrangere vient lui imprimer de nouveaux balancemens, elle alterera presque toujours la régularité des premiers. J'ai remarqué plusieurs fois, en m'en revenant sur *le Triton*, petit navire de Nantes d'environ 180 tonneaux, que chaque oscillation étoit d'un peu plus de $4\frac{1}{2}''$, & souvent ce navire en faisoit 14 ou 15 de suite; au lieu que d'autres bâtimens en font 30 ou 40.

Le roulis est-il trop vif, & craint-on qu'il fasse tomber les mâts? On pourroit remedier à cet inconvénient en élevant le centre de gravité; mais comme le navire porteroit ensuite moins bien la voile, & qu'on courroit de plus grands risques, il vaut infiniment mieux, en laissant toujours le centre de gravité dans la même place, ou même en le portant encore plus bas, en éloigner le plus qu'on peut les choses qui sont d'un plus grand poids, & en rapprocher au contraire celles qui sont plus legeres. Lorsque dans le Chapitre III. de la premiere Section de ce second Livre, on a parlé du soufflage ou du renflement

qu'on fait quelquefois à la carene, on a montré, contre le ſentiment ordinaire, qu'il ne pouvoit pas faire tort à la navigation par ſa peſanteur : il n'étoit pas tems de dire alors, & on ne nous eût pas cru, qu'il nuiſoit plus ſouvent par ſon trop de legereté, ſur-tout lorſqu'au lieu d'appliquer les nouveaux bordages ſur les anciens, on les poſe ſur des tacquets. On voit maintenant qu'on ne ſçauroit le former de matieres trop peſantes, ni en introduire auſſi de trop peſantes dans le doublage. Ce ſera déja un leſt placé avantageuſement que le vaiſſeau portera toujours avec lui; & il n'y aura qu'à en mettre une moindre quantité d'autre. Il y a toute apparence que ce qu'on vient de dire, ſuffit pour l'uſage ordinaire : nous croyous avoir déja répandu un grand jour ſur tout ce que les Marins nomment *arrimage :* afin néanmoins d'éclaircir davantage toute cette matiere, nous allons ajouter encore la ſolution de quelques Problêmes qui y appartiennent.

CHAPITRE II.

Connoiſſant la figure du vaiſſeau & la diſtribution de ſes parties, trouver la durée de ſes oſcillations, ou de ſes balancemens dans le roulis.

I.

ON ne ſçauroit mieux exprimer la durée des oſcillations d'un vaiſſeau ſujet au roulis, que par la longueur d'un pendule ſimple, dont les vibrations ſoient ſynchrones, ou de même durée. C'eſt donner à cette durée une meſure connue : car on ſçait les tems qu'employent dans leurs oſcillations les pendules de toutes les diverſes longueurs : ces tems ſont comme les racines quarrées des longueurs ; de ſorte qu'un pendule 4 fois ou 9 fois plus long, ne met que deux ou trois fois plus de tems à faire

Fig. 55 & 66. les vibrations. Je nomme z la longueur de ce pendule qui s'accorderoit dans ses balancemens avec le navire, & g la vîtesse que lui donneroit la pesanteur. Je désigne par P la pesanteur ou masse totale du vaisseau formée des masses particulieres T, t, &c. (Fig. 66.) de toutes les parties qui sont éloignées du centre de gravité G des distances D, d, &c.

Toutes ces parties doivent dans le roulis recevoir d'autant plus de vîtesse, qu'elles sont plus éloignées du centre de gravité G, puisqu'elles décrivent des arcs de plus grand cercle; & comme les oscillations du vaisseau sont synchrones avec celle du pendule, nous pouvons faire cette analogie: la longueur z de ce pendule est à la vîtesse g, comme les distances D ou d, &c. sont aux vîtesse $\frac{gD}{z}$ ou $\frac{gd}{z}$, &c. que prendront les différentes parties du vaisseau, selon leur distance du centre de gravité autour duquel elles se balancent. Les vîtesses de ces parties étant multipliées par leur masse, ou par leur pesanteur particuliere T, t, &c. nous aurons $T \times \frac{gD}{z}$, $t \times \frac{gd}{z}$, &c. pour le mouvement de rotation de ces parties, mouvement qui est produit par l'action de la poussée verticale de l'eau appliquée en g. Mais ce mouvement qui ne se reçoit qu'avec peine, résiste, comme nous l'avons déja assez expliqué, & résiste d'autant plus qu'il est appliqué à une plus grande distance du centre de gravité qui sert dans la circonstance présente de point d'appui ou d'hypomoclion. Il faut donc multiplier les mouvemens $T \times \frac{gD}{z}$ & $t \times \frac{gd}{z}$, &c. par les distances D & d, &c. pour en avoir le moment, ou l'énergie; & il viendra $T \times \frac{gD^2}{z} + t \times \frac{gd^2}{z}$ + &c. pour le moment de la résistance que font toutes les parties du vaisseau à tourner autour du centre G.

Ce moment doit être égal à celui de la poussée de l'eau, qui tend à faire tourner le navire. Cette poussée étant égale à la pesanteur du vaisseau, est exprimée par le

produit Pg de la masse P par la vîtesse g, que communique la gravité par son action simple. Mais la force Pg étant appliquée en g au bras du levier $gG = k$, a pour moment Pgk. Ainsi nous avons l'équation $T \times \frac{gD^2}{z} + t \times \frac{dg^2}{z}$ + &c. $= Pgk$, dont on tire la formule $z = \frac{T \times D^2 + t \times d^2 + \&c.}{Pk}$ qui nous donne cette regle générale pour trouver la longueur z du pendule simple, dont les oscillations sont de même durée que celle du vaisseau. *C'est de multiplier la pesanteur de toutes les parties du navire par le quarré de leur distance particuliere au centre de gravité* G, *& de diviser la somme* ($T \times D^2 + t \times d^2$ + *&c.*) *de tous ces produits par la pesanteur totale* P *du vaisseau multipliée par la quantité*, (k), *dont le centre de gravité est au-dessous du métacentre ; il viendra au quotient la longueur requise du pendule synchrone.*

Fig. 66.

Cette regle, ou ce qui est la même chose, la formule $z = \frac{T \times D^2 + t \times d^2 + \&c.}{Pk}$, nous confirme les remarques faites dans le Chapitre précédent, & peut nous en suggerer de nouvelles, sur le plus ou le moins de promptitude des oscillations du roulis. Puisque ces oscillations s'accordent avec celles du pendule, dont les longueurs z sont en raison inverse de k, il doit arriver, comme nous l'avons déja dit dans les balancemens du vaisseau, le contraire de ce qui arrive dans le mouvement des pendules simples. *Les durées des oscillations qui sont comme les racines quarrées de* z, *doivent être en raison inverse des racines quarrées des quantités* k, *dont le centre de gravité du vaisseau est au-dessous du métacentre.* Si cette quantité k est quatre fois plus petite, les oscillations se feront avec deux fois plus de lenteur : si k est 100 fois plus petite, les mouvemens du roulis seront dix fois moins vifs : car la longueur z du pendule synchrone sera 100 fois plus grande ; & un pendule 100 fois plus long, met 10 fois plus de tems à faire ses vibrations.

On voit avec la même évidence que plus les diverses

Fig. 66. parties du vaiſſeau ſeront éloignées du centre de gravité, plus le pendule ſynchrone aura de longueur, & on voit même que cette longueur eſt proportionnelle aux quarrés des diſtances D : d'où il ſuit que les durées des oſcillations qui ſont comme les racines quarrées des longueurs des pendules ſeront comme les diſtances mêmes D. C'eſt-à-dire, que ſi toutes les diſtances ſont trois ou quatre fois plus grandes, les oſcillatións du roulis ſe feront trois ou quatre fois plus lentement.

Nous ſupprimons quelques autres reflexions pour nous borner à cette derniere : *Que ſi deux vaiſſeaux ſont parfaitement ſemblables, ou s'ils ont ſimplement pour coupes verticales, faites perpendiculairement à leur longueur, des figures ſemblables, la durée de leurs oſcillations ſera comme la racine quarrée de la largeur ou de quelqu'autre dimenſion ſimple des coupes ;* de ſorte que ſi la largeur de l'un eſt, par exemple, quatruple de celle de l'autre, le premier fera ſes balancemens deux fois plus lentement. Il n'y a, pour en voir la raiſon, qu'à ſuppoſer que les deux vaiſſeaux ſont diviſés en un égal nombre de parties ; mais de parties plus petites ou plus grandes proportionnellement. De-là il s'enſuivra que le rapport des peſanteurs particuliers T à la peſanteur totale P ſera toujours le même, & que la longueur z du pendule ſynchrone ne variera qu'à cauſe du changement que reçoit le rapport ou la fraction $\frac{D^2 + d^2 + \&c.}{k}$. Or comme ces diſtances D, & la quantité k changent dans le même rapport, la fraction $\frac{D^2 + d^2 + \&c.}{k}$ doit changer dans la raiſon ſimple des diſtances D, ou en même raiſon que les largeurs du navire. C'eſt-à-dire, que ſi le navire eſt deux ou trois fois plus large, le pendule ſynchrone ſera deux ou trois fois plus long, & les durées des oſcillations ſeront donc comme les racines quarrées de deux oude trois, ou de en général comme les racines quarrées des largeurs.

III.

Au ſurplus, l'application de notre regle ne ſera jamais difficile

difficile, soit qu'on considere le vaisseau comme un corps géométrique homogene, soit qu'on le considere dans son état actuel & comme formé d'un nombre fini de parties de différente pesanteur. Supposé que le navire ait la figure d'un parallelipipede rectangle dont la pesanteur soit également distribuée par tout, & qu'on exprime la largeur & la profondeur par a & b, on trouvera $\frac{1}{12}ab^3 + \frac{1}{12}a^3b$ pour le moment du mouvement de toutes les parties autour du centre de gravité. C'est ce moment qu'il faut diviser par le produit de la pesanteur totale du navire multipliée par la hauteur du métacentre au-dessus du centre degravité. Cette hauteur est $\frac{a^2}{12c} + \frac{1}{2}c + \frac{1}{2}b$ *, aussi-tôt qu'on nomme toujours a la largeur du bâtiment, & c la quantité dont il plonge dans la mer; si on multiplie cette hauteur par le rectangle ab, qui est la coupe verticale faite perpendiculairement à la longueur du navire, & qui doit représenter la pesanteur totale dans le cas présent, on aura le produit $\frac{a^3b}{12c} + \frac{1}{2}abc - \frac{1}{2}ab^2$, par lequel il faut diviser le moment $\frac{1}{12}ab^3 + \frac{1}{12}a^3b$; & il viendra $\frac{b^2c + a^2c}{a^2 + bc^2 - 6bc}$ pour la longueur du pendule synchrone.

Fig. 66.

* Voyez le Chap. IV. de la Sect. précédoute.

S'il s'agissoit particulierement de l'Arche de Noé, qui avoit 50 coudées de largeur, & qu'on supposât, comme nous l'avons déja fait, que ce bâtiment enfonçoit dans les eaux du Déluge de 10 coudées, ou du tiers de sa hauteur, on auroit alors $\frac{b^3 + a^2b}{3a^2 - 4b^2}$, qui nous apprend que le pendule simple synchrone étoit de $26\frac{2}{3}$ coudées. On ne sçait pas avec certitude le rapport de cette ancienne mesure avec les nôtres; mais si on la suppose de $1\frac{1}{2}$ pied, le pendule synchrone sera de $39\frac{3}{13}$ pieds dont les oscillations sont de 3″ 33‴ à proportion du pendule simple de 36 pouces $8\frac{1}{2}$ lignes, qui en France & dans tous les autres pays qui sont à peu près par la même latitude, bat exactement les secondes, ou qui met 60 tierces à faire chaque oscillation simple. C'est ce qu'on trouve par cette analogie; 36 pouces $8\frac{1}{2}$

Fig. 66. lignes eſt à 3600, quarré de 60 tierces, comme $39\frac{3}{13}$ pieds eſt à 45496, dont la racine quarrée eſt 213 tierces, ou 3 ſecondes 33 tierces. Ainſi les balancemens de l'Arche devoient être extrêmement vifs ; à moins que la diſtribution de ſa charge, comme il y a lieu de le croire, ne contribuât à les rendre plus lents.

IV.

C'eſt la même choſe dans tous les navires qui n'ont point d'artillerie & qui ſont démâtés. La mâture, quoique peu peſante par rapport au reſte du vaiſſeau, s'oppoſe extrêmement à la viteſſe des balancemens, parce que ſa grande hauteur fait qu'elle a un grand arc de cercle à décrire, ou beaucoup de mouvement à recevoir, & qu'elle y réſiſte à proportion, en ne prenant ce mouvement qu'avec difficulté. Il lui arriveroit même ſouvent, ſans les haubans, les étays & tous les autres cordages qui la ſoutiennent, ce qui arrive quelquefois à une baguette, qui ſe refuſant à la trop grande vîteſſe que la main tend à lui imprimer, ſe rompt par le bas, pendant que ſon extrémité ſuperieure reſte en arriere. Il eſt évident qu'on peut ſe ſervir de notre regle pour trouver immédiatement la longueur du pendule ſynchrone, auſſi-bien pour les vaiſſeaux mâtés que pour ceux qui ne le ſont pas : mais après qu'on aura fait cette recherche pour le navire conſideré, il n'importe en quel état, on peut, lorſqu'on fait quelque changement, quoique conſidérable, à la diſtribution de la charge, ou de quelqu'autre partie, s'aider toujours de la premiere détermination, & ſe contenter de découvrir l'effet particulier que doit produire le nouvel arrangement.



CHAPITRE III.

Trouver le changement que doit apporter aux balancemens du roulis la transposition de quelques parties dans le vaisseau ; avec quelques remarques sur le tangage.

I.

SOIT qu'on mâte un vaisseau qui ne l'étoit pas, ou qu'on lui fasse quelqu'autre changement, il n'y aura jamais de difficulté à découvrir, par les regles ordinaires de la Statique, combien son centre de gravité aura changé de place. Lors qu'on augmente ou qu'on diminue la pesanteur totale du navire, il arrive aussi que la carene, ou la partie submergée, n'est plus la même, & que par conséquent le métacentre se trouve plus haut ou plus bas. Mais toutes les fois qu'on ne fera qu'une simple transposition de parties dans le vaisseau, le métacentre ne changeant point, il n'y aura que le centre de gravité qui souffrira quelque variation. Nous supposons ce changement déja découvert, & que le vaisseau (*Fig.* 66.) qui avoit son centre de gravité en G, l'a maintenant en γ; il est donc principalement question de trouver combien le moment, ou l'énergie du mouvement de toutes les parties du vaisseau, augmente ou diminue lorsque le mouvement de rotation se fait autour du centre γ, au lieu de se faire autour de G. On nommera S ce moment total par rapport au centre G : si on ne l'a pas encore trouvé par l'application de la régle, on le découvrira toujours aisément par l'expérience, en examinant avec un sablier la durée des oscillations du roulis. Supposé que P désigne encore la pesanteur totale du vaisseau; k la hauteur du métacentre au-dessus du centre de gravité, & z la longueur du pendule synchrone,

Fig. 61.

on aura $z = \frac{S}{Pk}$, dont on tirera $S = Pkz$, qui exprime en grandeurs parfaitement connues la ſomme S, qu'on vouloit avoir, de tous les momens par rapport au centre G. Cette ſomme totale des momens eſt égale, comme on le voit, au produit de la peſanteur du navire par la hauteur du métacentre au-deſſus du centre de gravité, & par la longueur du pendule ſynchrone, ou du pendule qui fait ſes oſcillations préciſément dans le même tems que le vaiſſeau fait ſes balancemens.

II.

Mais ce moment ne doit plus être le même auſſi-tôt que le vaiſſeau roule ſur un autre point γ. Si ce nouveau centre de gravité eſt plus bas, toutes les parties ſuperieures comme T, en ſeront plus éloignées, & le quarré des diſtances $T\gamma$, par lequel la maſſe de chaque partie doit être multipliée, ſera préciſément plus grand de la quantité dont le quarré de $I\gamma$ eſt plus grand que celui de IG. Il ne faut pour le voir que faire attention que le quarré de $T\gamma$ eſt égal au quarré de TI & de $I\gamma$; au lieu que celui de TG étoit égal à ceux de TI & de IG. Ainſi le quarré de la diſtance $T\gamma$ eſt plus grand que celui de TG de deux rectangles de IG par $G\gamma$, & outre cela du quarré de $G\gamma$. Le quarré de la diſtance des parties inférieures comme ι, changera en même tems & par la même raiſon du quarré de $G\gamma$, moins deux rectangles de $G\iota$ par $G\gamma$. Mais le produit de toutes les parties variables GI par la peſanteur des parties ſuperieures correſpondantes T étant égal (à cauſe de la proprieté du centre de gravité) au produit de toutes les parties variables $G\iota$ par la peſanteur des parties inférieures, les produits multipliés de part & d'autre par $G\gamma$, ou par le double de $G\gamma$, doivent être encore égaux; & puiſqu'ils ſont poſitifs pour les parties ſuperieures & négatifs pour les inférieures, ils doivent ſe détruire dans la ſomme totale, laquelle ne doit par conſéquent recevoir aucune alteration par cet endroit. Il n'y a donc que les quarrés de $G\gamma$ qui étant additifs de

part & d'autre, doivent, en se multipliant par toutes les parties, tant superieures qu'inférieures du vaisseau, faire augmenter la somme des momens. Ainsi cette somme, qui étoit désignée auparavant par S, le doit être maintenant par $S + P \times \overline{G\gamma}^2$. Il est donc démontré qu'aussi-tôt que le vaisseau, ou tout autre corps, tourne sur un point différent de son centre de gravité, le moment des mouvemens de toutes les parties se trouve toujours plus grand; & qu'il l'est du produit de la masse du corps par le quarré de la distance du centre de rotation au centre de gravité. Fig. 66.

III.

Il ne reste plus après cela qu'à remarquer que dans l'expression $S + P \times \overline{G\gamma}^2$ du moment total, la transposition des parties n'est comptée pour rien, & que le changement découvert ne vient simplement que de ce qu'on considere le mouvement de rotation autour du point γ, au lieu de le considerer autour du point G. Ainsi lorsqu'on a ajouté quelques nouveaux poids, ou lorsqu'on en a transposé quelques-uns, il faut encore examiner expressément le moment particulier de ces parties, ou le changement qu'il a reçu, & l'ajouter à $S + P \times \overline{G\gamma}^2$. S'il s'agit de parties simplement transposées, & qu'elles fussent éloignées de la distance D du centre γ dans leur premiere situation, & de la distance d dans la seconde, & qu'on désigne par p leur pesanteur, le changement que souffrira le moment de leur mouvement sera représenté par $p \times \overline{d^2 - D^2}$, & ce sera cette quantité qu'il faudra ajouter à $S + P \times \overline{G\gamma}^2$ pour avoir le moment total $S + P \times \overline{G\gamma}^2 + p \times \overline{d^2 - D^2}$, eu égard à tout. Enfin divisant ce moment, selon la régle, par la pesanteur totale P du vaisseau multipliée par k, qui désigne la quantité dont le nouveau centre de gravité γ est au-dessous du métacentre, il viendra $\frac{S + P \times \overline{G\gamma}^2 + p \times \overline{d^2 - D^2}}{P \times k}$ pour la lon-

gueur requiſe du pendule dont les oſcillations ſont préciſément de même durée que celles du navire, après le changement fait dans la ſituation de ſes parties.

I V.

Prênons pour exemple un vaiſſeau dont la peſanteur totale P eſt 3000 tonneaux, dont le centre de gravité eſt quatre pieds au-deſſous du métacentre, & dont les balancemens dans le roulis ſont de 5 ſecondes, ou ſont de même durée que celles d'un pendule ſimple d'environ 76 ½ pieds. Si en abattant la mâture, qui peut peſer 70 tonneaux, on remplace ſa peſanteur par un poids égal mis à 10 pieds de diſtance de l'endroit où ſe trouvera enſuite le centre de gravité, qui aura, on le ſuppoſe, deſcendu de 1 ½ pied, on aura $P \times \overline{G\gamma}^2 = 6740$, (produit de 3000 tonneaux par le quarré de ½ pied) qu'il faudra ajouter à $S = Pkz = 918000$, & il viendra 924750 pour $S + P \times \overline{G\gamma}^2$. Mais comme la mâture, lorſqu'elle étoit en pied, faiſoit à peu près le même effet que ſi elle avoit été réunie dans un point élevé de 83 ½ pieds au-deſſus du centre de gravité G, & de 85 au-deſſus de γ, la valeur de $p \times \overline{d^2 - D^2} = 70 \times \overline{10}^2 - \overline{85}^2 = 498750$ ſera négative, & nous aurons par conſéquent 426000, pour le moment total $S + P \times \overline{G\gamma}^2 + p \times \overline{d^2 - D^2}$. Enfin ſi l'on diviſe ce moment par 16500, qui eſt le produit de 3000 tonneaux par la valeur 5 ½ pieds qu'a actuellement k, puiſque le centre de gravité du vaiſſeau eſt deſcendu de 1 ½ pied, il ne viendra pas tout à fait 26 pieds pour la longueur du pendule dont les oſcillations ſeront ſynchrones avec celles du roulis. Cela nous apprend que les balancemens du vaiſſeau ſeroient beaucoup plus vifs; ils le ſeroient en même raiſon que la racine quarrée de 76 ½ pieds eſt plus grande que celle de 26; puiſque les durées des oſcillations ſont comme les racines quarrées des longueurs des pendules. Le vaiſſeau

qui employoit 5 secondes à faire chaque balancement simple, c'est-à-dire, à tomber d'un bord à l'autre, en employeroit ensuite moins de 3; il n'employeroit que 2 secondes 53 tierces. La différence peut, de cette sorte, aller assez loin pour qu'il soit quelquefois impossible aux meilleurs Matelots de se tenir sur le pont, & pour qu'on ait aussi tout à craindre d'un roulis aussi rude.

V.

Il faut remarquer qu'on ne peut rien appliquer de ce que nous venons de dire, aux balancemens du tangage, parce qu'ils ne se perpetuent pas de la même façon que ceux du roulis. Le navire ne pouvant pas faire d'oscillations dans le sens de sa longueur, sans déplacer beaucoup d'eau vers l'avant & vers l'arriere par le grand mouvement que reçoivent ses deux extrémités, ces balancemens ne peuvent continuer d'eux-mêmes; ils ne doivent se répeter qu'autant qu'ils sont reproduits derechef par l'agitation de la mer qui ne cesse pas. Le fort de la secousse se fait ressentir lorsque la proue ou la poupe cessant d'être assez soutenue, retombe tout à coup par son poids. L'arcasse qui en est ébranlée est quelquefois frappée avec tant de violence, que le plus grand nombre des Marins croyent que certains navires sont sujets à *acculer*; c'est-à-dire, à reculer pendant quelques instans de leur marche; comme si un vaisseau qui single à toutes voiles, qui fait deux ou trois lieues par heure, & 10 à 12 pieds par seconde, pouvoit aller tout à coup en sens contraire, & reprendre dans le même instant toute sa vîtesse dans le premier sens. Nous avons dit dans le premier Livre qu'il n'y a qu'à grossir un peu la proue & la poupe, afin qu'elles retrouvent plutôt en tombant le soutien dont elles ont besoin. On doit, pour se conformer à ce conseil, ou à ce précepte, se souvenir entre autres choses de ne pas trop augmenter la hauteur des façons, principalement par-devant. Lorsque cette hauteur est portée trop loin, ou lorsque le corps proprement dit de la proue est trop élevé au-dessus de la quille, pour peu que la mer

ſe retire de deſſous, toute l'extrémité du navire ſe trouve en l'air. Ce ne ſera pas la même choſe, lorſque la hauteur des façons ſera médiocre, quoique la proue ſoit plus étroite : ſa partie d'en bas occupera toujours quelque place dans l'eau dont elle ne ſortira jamais ; & la pouſſée verticale de la mer moderera néceſſairement la vîteſſe de la chûte.

Un dernier moyen qui ſuppléera à tous les autres, au moins dans les corvettes & dans tous les autres navires dont il n'eſt queſtion que d'accelerer la marche ; c'eſt d'accumuler le leſt vers le milieu de la carene, & d'en débaraſſer totalement les extrémités, qu'on s'attachera en même tems à rendre les plus legeres qu'il ſera poſſible. Il eſt d'uſage de rejetter vers la proue & vers la poupe pluſieurs choſes très-peſantes, qu'on pourra ſouvent mettre ailleurs, en ſe gênant un peu. Il faut outre cela diſtribuer le leſt tout le long de la cale, & faire enſorte que chaque endroit du navire peſe à proportion de l'eſpace qu'il occupe dans la mer, loſqu'on veut empêcher le navire de s'arquer ; mais ſi on mépriſe ce dernier inconvenient, comme cela eſt permis dans certaines rencontres, l'expédient que nous propoſons, doit être infaillible. Tout le poids étant raſſemblé vers le milieu de la longueur du navire, ce poids ne ceſſera jamais d'être ſuffiſamment ſoutenu par la mer, & les deux extrémités étant vuides, ne pourront retomber qu'avec lenteur, lorſqu'elles ſe trouveront en l'air ; puiſqu'elles n'auront pas la force d'imprimer du mouvement au reſte, & de l'entraîner tout à coup en vainquant ſon inertie. Ce moyen, pour ſuſpendre les mauvais effets du tangage, n'empêchera pas de prendre toutes les meſures que nous avons indiquées contre le roulis. On peut porter le plus grand poids vers le milieu de la carene, & mettre avec la même facilité le centre de gravité plus haut ou plus bas ; de même qu'éloigner ou rapprocher de l'axe qui paſſe par ce point, les parties les plus peſantes de la charge.

VI.

VI.

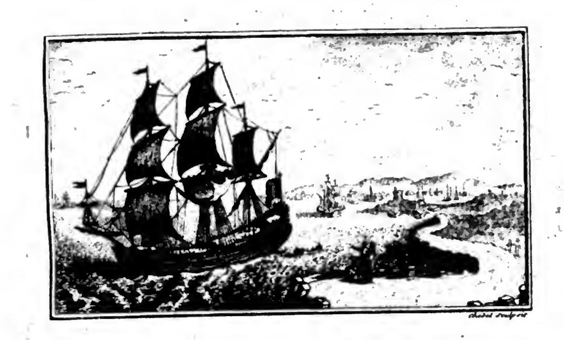
Au reste nous ne plaignons pas les détails dans lesquels nous sommes entrés au sujet de la disposition du centre de gravité du vaisseau, & de la distribution de sa charge ou de son lest. Ces détails sont de la derniere importance : le Lecteur qui nous a suivi dans les recherches précédentes, en conviendra sans doute : le plus grand des intérêts, le salut des marins y est attaché, & d'un autre côté presque tous les succès de la navigation en dépendent. On voit tous les jours que les Constructeurs entreprennent de donner à deux vaisseaux précisément les mêmes gabaris, afin de les rendre également bons voiliers ; ils réussissent même à leur donner si exactement la même figure qu'on n'y remarque par la moindre inégalité. Mais à peine les vaisseaux sortent-ils du Port que leur différence se manifeste, & qu'on voit avec le plus grand étonnement, qu'ils ont par rapport à la marche des qualités très-différentes. Nous n'avons garde d'attribuer ces varietés aux causes * chimeriques (nous ne pouvons pas employer d'autres termes) ausquelles on s'est trouvé souvent obligé de recourir. Mais d'où peut donc venir la difference, si ce n'est de ce que le centre de gravité, dont on ne se donne pas la peine d'examiner la situation, n'est pas précisément dans le même endroit : ou supposé que ce centre se trouve par hazard dans la même place, de ce qu'on a donné sans s'en apper-

* On s'est souvent imaginé que la marche plus ou moins rapide dépendoit de quelques coins mis en certains endroits, d'un cordage tendu ou lâche, d'un certain pavillon exposé au vent, d'un poids très-médiocre, comme de 15 ou 20 livres suspendu en quelque endroit, &c. Il n'y a presque point de marins, qui faute de connoître les vraies causes des changemens qu'il a quelquefois apperçu, n'assure avoir expérimenté quelque chose de semblable. Il est aussi très-ordinaire dans les cas pressans de scier le vibord du navire & de délier plusieurs pieces qui ne sçauroient être trop jointes. Leur jeu ou leur frémissement devient plus grand ; & on pense que le mouvement du navire est plus rapide, parce qu'il est devenu plus sensible. C'est à-peu-près comme si quelqu'un s'imaginoit aller plus vîte dans une chaise de poste mal suspendue, parce qu'il se sent plus cahoté.

cevoir une autre diſtribution à la peſanteur par rapport à ce point ? L'inclinaiſon étant pouſſée plus ou moins loin, ou les balancemens du roulis plus ou moins grands, la partie ſubmergée de la carene n'eſt plus la même, & le navire devient enſuite, pour ainſi dire, un vaiſſeau tout différent, & qui n'a plus les mêmes qualités.

Fin du ſecond Livre.





TRAITÉ DU NAVIRE, DE SA CONSTRUCTION, ET DE SES MOUVEMENS.

LIVRE TROISIEME.

Du Vaisseau consideré en mouvement.

(Jam vagus irrupit pelago. *Claud.*)



PRES avoir traité du vaisseau lorsqu'il flote en repos, nous devons le considerer en mouvement, & discuter ses bonnes & ses mauvaises qualités dans cet état. Nous devons principalement examiner s'il obéira aisément à tous les mouvemens qu'on voudra lui imprimer, s'il sera sujet à peu de dérive dans les routes

obliques, s'il singlera avec vîtesse; en même tems que nous ne pouvons pas nous dispenser de distinguer toutes les circonstances dont ces qualités dépendent, les relations qu'elles ont entr'elles, les loix qu'elles suivent dans leurs changemens. On voit assez que ces matieres tiennent à beaucoup d'autres, & que le sujet est extrémement compliqué; ainsi nous décomposerons le tout par parties, afin d'avoir la liberté de passer des unes aux autres toutes les fois que nous croirons gagner quelque chose du côté de la facilité ou de la clarté.



PREMIERE SECTION.

Où l'on examine les loix que les fluides obſervent dans leur choc ; le vent en frappant les voiles, & l'eau en rencontrant la partie antérieure de la carene.

CAAPITRE PREMIER.

De la maniere dont l'impulſion du vent ſur la voile & le choc de l'eau ſur la proue, contribuent au ſillage du navire.

TANT que le vaiſſeau flote librement dans le port, il n'eſt ſujet, comme on l'a vu dans le Livre précedent, qu'à l'action de deux puiſſances, l'action de ſa propre peſanteur & celle de la *pouſſée verticale* de l'eau. Auſſitôt qu'il eſt ſous voile & qu'il ſingle, il y a deux autres forces à conſiderer, l'impulſion du vent ſur les voiles & la réſiſtance de l'eau contre la proue. L'impulſion du vent fait avancer le navire, le met en mouvement ; & de ce mouvement naît néceſſairement la réſiſtance de l'eau, ou ſon impulſion ſur la proue ou ſur le flanc de la carene, ſelon que la route eſt directe ou oblique. Ce ſont en tout quatre forces ; & puiſque nous avons déja examiné en particulier les deux premieres, il eſt maintenant queſtion de conſiderer principalement les deux dernieres, & de voir ce qui reſulte de leur combinaiſon avec les deux autres.

Il faut bien diſtinguer le choc de l'eau ſur la proue, de la *pouſſée verticale*, ou de cette force avec laquelle la mer pouſſe continuellement en haut. Au lieu que cette derniere ne dépend que du volume d'eau dont la carene occupe la place & ne reçoit aucun changement du plus ou du moins de rapidité du ſillage, le choc que ſouffre la proue doit augmenter ou diminuer ſelon que la vîteſſe du vaiſſeau eſt plus ou moins grande; puiſque la proue ne peut pas rencontrer l'eau avec plus de rapidité, ſans en être repouſſée avec plus de force. On ne doit enfin négliger l'action d'aucune des quatre puiſſances que nous venons de ſpécifier; car il eſt certain qu'elles ſont les ſeules cauſes, & du mouvement du vaiſſeau, & de toutes les ſituations qu'il prend.

Le navire, en partant au port n'acquiert ſon mouvement que par des degrés infiniment petits; à-peu-près de la même maniere que les graves, dans leur chûte, ne parviennent à une certaine vîteſſe que par une action réiterée une infinité de fois de la part de la peſanteur. D'abord l'impulſion du vent lui imprime de trop grands degrés de vîteſſe, pour que la réſiſtance de l'eau puiſſe les détruire entierement. Car la vîteſſe du ſillage étant dans les premiers inſtans très-petite, la réſiſtance de l'eau qui en dépend doit être auſſi très-foible; mais à meſure que le navire ſe meut plus vîte, il ſe ſouſtrait pour ainſi dire davantage à l'action du vent; & les voiles ſont frappées avec moins de force: au lieu que c'eſt tout le contraire de l'impulſion de l'eau contre la proue, parce qu'elle augmente par la vélocité du navire. Ainſi les nouveaux degrés que l'effort de la voile ajoute au mouvement du vaiſſeau, vont continuellement en diminuant, pendant que ceux que retranche la réſiſtance de l'eau contre la proue croiſſent au contraire ſans ceſſe. Tant que les degrés ajoutés ſont plus grands que les degrés retranchés, le ſillage accélere ſa vîteſſe: mais enfin ces divers degrés ſont-ils parvenus à l'égalité, ou l'impulſion du vent ſur les voiles a-t-elle aſſez perdu de ſa force, pour ne pas plus agir dans un ſens que la réſiſtance de l'eau con-

tre la proue dans le ſens oppoſé, le navire ne doit plus augmenter ſa vîteſſe, & doit ſe mouvoir d'un mouvement parfaitement uniforme.

Tout cela s'accomplit en très-peu de tems, en beaucoup moins qu'il n'en faut ordinairement pour développer toutes les voiles & pour les diſpoſer. Ce qui nous diſpenſe de montrer que le problême de l'accéleration du ſillage ſe réduit au logarithme, ou dépend de la quadrature de l'hyperbole : car nous évitons avec ſoin toutes les diſcuſſions géométriques qui ne ſont pas d'une néceſſité indiſpenſable. Le grand poids du navire peut-être cauſe qu'il tarde un peu à parvenir à ſa plus grande vîteſſe ; mais ce poids ne fait rien au degré même de cette vîteſſe ; & auſſi-tôt que le navire l'a une fois acquiſe, il avance enſuite par ſon ſeul mouvement propre ou intrinſeque ; & il ne doit ni recevoir de nouveaux degrés ni en perdre. Il doit ſe mouvoir comme s'il ſe mouvoit par ſes propres forces dans le vuide, ſans être déſormais ſujet ni à l'action du vent ſur les voiles, ni à celle de l'eau contre la proue. Si à chaque inſtant, l'impulſion de l'eau tend encore à détruire quelques petites parties de ſa vîteſſe, l'impulſion du vent ſur les voiles, qui eſt parfaitement ſimultanée, tend à les réparer : de cette ſorte ſon mouvement ne ſouffre aucune altération. Mais on doit remarquer que ce n'eſt pas aſſez pour cela que les efforts du vent & de l'eau, dans le ſens horiſontal, ſoient parfaitement égaux ; il faut encore qu'ils ſoient directement contraires, autrement ils ne ſuſpendroient pas entierement l'effet l'un de l'autre ; les petits degrés de vîteſſe communiqués par le vent, ne ſeroient pas exactement détruits par l'impulſion de l'eau, & le navire perdroit de l'uniformité de ſon ſillage.

Pour voir tout ceci plus évidemment, on n'a qu'à jetter les yeux ſur la figure 67, qui repréſente la coupe horiſontale du vaiſſeau faite à fleur d'eau ; A eſt la proue & B eſt la poupe ; DE la voile, & VC la direction du vent qui ſouffle de V vers C. Il faut bien remarquer que la direction CF, ſelon laquelle la voile DE eſt pouſſée, n'eſt pas la

Fig. 67.

Fig. 67. même que la direction du vent, & qu'elle ne depend que de la seule situation de la voile, avec laquelle elle fait toujours un angle droit. Le vent ne peut agir que selon le seul sens perpendiculaire, parce que l'autre partie de son mouvement, celle qui s'exerce dans le sens parallele à la voile, ne peut faire aucune impression. Ainsi, que le vent frappe la voile plus ou moins perpendiculairement, il fera une impression plus ou moins grande; de même qu'une pierre qui rencontre une muraille avec la même vîtesse sous divers angles, la frappe plus ou moins fort: mais l'action à laquelle la voile DE sera sujette, ne tombera toujours que sur la perpendiculaire CF, & tout le reste de l'effort se trouvera perdu. Par une raison semblable, quoique le navire se meuve selon la ligne CH, ou que cette ligne CH soit sa route qui differe de la direction de la quille BA, parce que la voile le pousse de côté; & quoique ce soit précisément le même cas que si le vaisseau étoit en repos, & que les parties de l'eau en mouvement vinssent choquer la proue en suivant la ligne HC & des paralleles à cette ligne, il n'est pas cependant repoussé par l'eau selon la ligne HC, mais selon une autre ligne qui dépend de la figure de la proue & de la disposition de toutes les parties de sa surface courbe les unes par rapport aux autres. Chaque partie est poussée par la rencontre de l'eau selon le sens perpendiculaire, & de tous ces efforts particuliers, il en resulte un dernier ou total, qui s'exerce sur une direction moyenne. Or comme nous l'avons dit, ce n'est pas assez que la résistance de l'eau, ou son choc contre la proue, soit parfaitement égal à l'impulsion du vent sur la voile, si ces deux forces n'agissent pas sur la même ligne CF en sens directement opposés. Sans cela l'effort de la voile selon CF imprimeroit sans cesse quelque nouveau degré CI de mouvement au vaisseau; & ce mouvement se joignant ou se composant avec celui CH qu'a déja le navire selon la route CH qu'il suit, formeroit le mouvement C*h* exprimé par la diagonale du parallelogramme CH*h*I; & le navire embrasseroit donc continuellement une nouvelle route C*h*. Ce ne sera plus la même

même chose, aussi-tôt que la résistance de l'eau, égale à l'impulsion du vent, s'exercera sur la direction FC en sens exactement contraire ; car elle detruira sur le champ le dégré de vitesse CI communiqué par la voile, & rien ne pouvant alterer le mouvement déja acquis CH, le Vaisseau ne pourra pas manquer de suivre constamment la même route.

Fig. 67.

L'angle ACH formé par la route CH que suit le Vaisseau & par sa quille, est nommé par les Marins *angle de la dérive*, lequel est plus ou moins grand, selon que la voile DE étant située plus ou moins obliquement par rapport à la quille, pousse le Navire plus ou moins de côté. Cet angle de déviation, ou de *dérive*, nuit extrémement aux avantages de la navigation dans les routes obliques, mais il n'est pas possible de le détruire. Il ne se réduit à rien, ou ce qui revient au même, le Navire ne single exactement selon sa longueur, que lorsque la voile fait un angle droit avec la quille ; parce que ce n'est qu'alors que le Vaisseau n'est pas poussé de côté, ou qu'il ne l'est que dans le sens direct, quelle que soit la direction du vent. Mais pour peu que la voile soit située obliquement, ou qu'on lui donne une disposition approchante de celle que représente la Figure, le Navire en passant successivement d'une route à l'autre, n'en embrasse constamment une, que lors que la direction du choc de l'eau sur la prouë, se trouve exactement contraire à la direction CF de l'effort de la voile. Il ne doit pas suivre la direction même CF de l'effort du vent; car, on le repete, les fluides ne poussent pas les surfaces selon leur propre direction; & si le Navire suivoit FC, le choc de l'eau s'exerceroit selon quelqu'autre ligne, & ne se trouvant pas exactement opposé à l'effort de la voile, ces deux forces ne pourroient pas se detruire mutuellement. C'est sur cette opposition & l'égalité parfaite, qui doivent subsister entre les impulsions de l'eau & du vent, qu'est fondée toute la théorie de la manœuvre des Vaisseaux. Ce principe genéral & fécond paroît maintenant de la derniere évidence : les écrits s'étoient néanmoins multi-

pliés inutilement ; & c'est au celebre M. Bernoulli à qui toutes les Mathématiques sont si redevables, que la science Nautique a encore cette obligation, d'avoir le premier découvert la verité dans cette matiere. *

* Voyez l'Essai d'une nouvelle Théorie de la manœuvre des Vaisseaux, imprimé à Basle en 1714.

CHAPITRE II.

De la mesure des chocs absolus de l'Eau & du Vent.

I.

LORSQUE l'eau, ou tout autre fluide, vient rencontrer un plan, il est évident que chacune de ses molécules doit faire plus ou moins d'impression, selon qu'elle frappe plus ou moins perpendiculairement. L'effort particulier doit être exprimé par le sinus de l'angle d'incidence, ou le sinus de l'angle que fait la direction du fluide avec la surface; puisque ce sinus représente la quantité de l'accès de la molécule vers le plan. Ceci se rapporte à ce que nous avons dit d'une pierre qui rencontre obliquement un mur & qui au lieu d'agir par son mouvement absolu, n'agit que par la partie qui s'exerce dans le sens perpendiculaire. Mais en même tems que chaque particule du fluide fait plus ou moins d'impression, le nombre de ces mêmes particules qui contribuent au choc, est encore plus ou moins grand, selon que la surface se présente plus ou moins directement; & ce nombre de particules est encore exprimé par le sinus de l'angle d'incidence. Ainsi le sinus de cet angle contribue doublement au choc: & l'impulsion doit être proportionnelle à son quarré. Dans la Figure 70, l'angle LBA représente l'angle d'incidence que fait la direction LB du fluide avec la surface AB, & l'impulsion, selon ce que nous venons de voir, sera proportionnelle au quarré du sinus de cet angle. Quoique la molécule L du fluide parcoure tout l'espace LB, elle n'avance vers la surface que de la quantité LM qui resulte de la décomposition du mou-

Fig. 70.

vement absolu BL, en mouvement perpendiculaire LM à la surface, lequel est exprimé par le sinus d'incidence, & en mouvement parallele LN, qui ne produit ici aucun effet. Mais en même tems que l'effort relatif de chaque molécule suit le rapport du sinus de l'angle d'incidence LBA, la multitude des mêmes molécules suit le même rapport: car la surface AB n'est frappée que par le seul fluide contenu entre A & O, ou qui passe entre ses points; & cette largeur AO est encore proportionnelle au sinus de l'angle d'incidence. Lorsque cet angle sera droit, l'impulsion sera la plus grande de toutes: au lieu que si l'angle LBA n'est que de 30 degrés, chaque molécule fera la moitié moins d'impression, parce qu'elle n'en fera que par sa vitesse d'accès qui ne sera que la moitié de sa vitesse absolue; & il y aura aussi la moitié moins de molécules qui contribueront au choc, parce que la surface présentera une moindre largeur au cours du fluide. De cette sorte l'effort total sera quatre fois moindre.

Fig. 70.

Mais ce n'est pas seulement par le plus ou le moins d'obliquité avec laquelle le fluide fait son choc, que son impulsion est différente; c'est encore par le plus ou le moins de vîtesse absolue qu'il a indépendamment de son obliquité. Aussi-tôt que le fluide se meut plus vîte, il fait une impression plus grande, & elle est proportionnelle au quarré de sa vîtesse; parce que le fluide se mouvant plus vîte, chacune de ses molécules frappe avec plus de force, & qu'il y a outre cela un plus grand nombre de molécules qui surviennent dans le même tems & qui contribuent à l'impulsion. Si l'eau, par exemple, qui rencontre une surface, acquiert trois fois plus de vîtesse, chacune de ses parties, prise séparement, fera une impression trois fois plus grande; mais comme il y aura encore, puisque la vîtesse sera trois fois plus grande, trois fois plus de parties dont l'action s'achevera dans le même tems, l'impulsion totale sera neuf fois plus forte. C'est ce qui est commun à tous les fluides, & c'est par cette raison qu'ils deviennent quelquefois capables d'efforts prodigieux. L'eau marine, par exem-

ple, ne fait que très-peu d'effet lorſqu'elle ne parcourt q'un pied dans une ſeconde; mais qu'elle ſe meuve dix fois plus vîte, auſſi-tôt ſon impulſion augmentera cent fois. Capable alors de renverſer les digues les plus épaiſſes, elle jettera ſouvent ſur ſes bords les plus grands poids, qui étoient plongés à une très-grande profondeur.

Il ſuit de ce que nous venons de dire, que lorſque le même fluide frappe la même ſurface avec différentes vîteſſes, & avec différentes obliquités, les impulſions ſont comme les produits des quarrés des vîteſſes par les quarrés des ſinus des angles d'incidence, puiſqu'elles dépendent également de chacun de ces quarrés. Il eſt vrai que dans tout ceci nous n'avons pas égard à quelques irregularités Phyſiques qui peuvent alterer un peu l'une & l'autre proportion. Après que les parties les plus avancées du fluide ont fait leur effet, il faudroit qu'en ſe retirant, elles laiſſaſſent agir librement les autres : au lieu qu'en ſe refléchiſſant après le choc, elles heurtent celles qui les ſuivent, & mettent obſtacle à l'action que ces dernieres doivent produire à leur tour. L'expérience apprend néanmoins que ces irregularités, qui ſont à peu près ſemblables, ou proportionnelles dans tous les cas, ne tirent pas à conſéquence. D'ailleurs on peut dans des pareilles matieres, negliger une préciſion trop rigoureuſe, lorſqu'il eſt queſtion de ne pas rendre les regles trop compliquées.

Si la vîteſſe du fluide eſt non-ſeulement différente, de même que le ſinus de l'angle d'incidence; mais que la ſurface ſoit auſſi plus ou moins grande, l'impulſion changera encore ſelon l'étendue de cette ſurface. Ainſi les impreſſions du même fluide ſont ſenſiblement comme les produits du quarré de ſa vîteſſe & du quarré du ſinus de l'angle d'incidence, multipliés par l'étendue du plan qui reçoit le choc. Je dis que les impulſions du même fluide ſuivent ſenſiblement ce rapport; car outre les irregularités dont je viens de faire mention, il ſe peut faire encore que des plans de diverſes étendues ne ſouffrent pas des impulſions proportionnelles à la grandeur de leur ſurface. Peut-être

que le plan deux fois plus grand, par exemple, ne reçoit pas un choc précisement double, & cela à cause du plus ou du moins de facilité que trouvent les parties du fluide à se retirer après avoir accompli leur choc, selon que la surface est plus ou moins grande. Il n'est pas permis à tout le monde de faire des expériences sur ces matieres, parce qu'il faudroit leur donner beaucoup d'étendue, les faire en grand, & examiner principalement les cas extrêmes.

Il arrive aussi peut-être des varietés que nous ne connoissons nullement, au choc que souffrent les surfaces qui se meuvent, par exemple, dans l'eau, & qui sont plongées à une grande profondeur; & toutes ces particularités veulent être étudiées, non pas par de simples méditations, mais par des épreuves faites avec beaucoup d'adresse. Je soupçonne que c'est en partie à la difficulté qu'a l'eau de se retirer & de passer sous la carene, qu'il faut attribuer la propriété qu'ont les Navires qui sont plus profonds, d'être toujours sujets à moins de dérive dans les routes obliques. Les Navires qui ont plus de *creux* glissent de côté sur les eaux avec moins de facilité; parce que les molécules d'eau qui sont frappées ont plus de vîtesse à prendre, ou plus de chemin à faire pour s'échapper; ce qui fait qu'elles résistent davantage au mouvement latéral du Vaisseau. Quoi qu'il en soit, si on admet les regles précedentes, il suffira de faire quelques essais sur le choc d'un fluide, pour se mettre en état de juger de la force de son impulsion dans tous les autres cas. On peut prendre, par exemple, pour principe d'expérience, que l'eau marine en choquant perpendiculairement une surface d'un pied quarré avec une vîtesse à parcourir un pied par seconde, fait une impression égale à très-peu près à une livre sept onces. Si la vîtesse est plus grande, l'impusion augmentera en raison doublée; si la surface est plus étendue, l'impulsion croîtra dans le même rapport que la surface; & enfin si le choc se fait avec obliquité, l'impulsion changera comme le quarré du sinus de l'angle di'ncidence.

II.

Les impulsions du vent sont foibles en comparaison de celles de l'eau, parce que l'air a peu de densité, ou contient beaucoup moins de matiere sous le même volume. M. Mariotte a trouvé que sa densité étoit 576 fois moindre que celle de l'eau; & comme, toutes les autres circonstances étant les mêmes, les impulsions des fluides doivent être proportionelles à leur densité, puisqu'ils n'agissent que par leur masse, ou par la quantité de matiere qu'ils contiennent, le vent, avec la même vîtesse que l'eau, doit faire une impulsion 576 fois moindre. Ainsi lorsqu'il parcourt une espace de 50 pieds dans une seconde, il fait, en rencontrant perpendiculairement une surface d'un pied quarré, un effort d'environ six livres; mais nous avons tout lieu de croire que les expériences qui ont fourni cette détermination, ont été faites en hiver, lorsque l'air étoit extrémement condensé: car il est certain que ce fluide, qui reçoit le plus aisement de tous les impressions de la chaleur, est beaucoup plus dilaté en été. Les impulsions qu'il fait alors par son choc, sont donc plus foibles: & peut-être sont-elles plus de 1000 fois moins fortes que celles de l'eau. On remarque souvent qu'un simple rayon du Soleil qui passe entre des nuages, suffit pour produire un changement considérable à l'état de l'air, de même que l'ombre d'un seul nuage détaché est capable de causer un changement tout contraire. L'air privé au-dessous de la chaleur immédiate du Soleil, se refroidit, & se condense tout-à-coup; & le vent, quoiqu'avec la même vîtesse, a réellement plus de force, parce qu'il agit avec plus de masse. Enfin son impulsion varie encore, selon qu'il est plus ou moins chargé de vapeurs : indépendamment des autres causes de différences, celle-ci produit des effets très-sensibles.

Il n'y a point de doute après tout cela, que si on peut toujours conclure assez exactement la force du choc de l'eau & de presque tous les autres fluides, aussi-tôt qu'on

connoît leur vîtesse, ce n'est pas la même chose à l'égard du vent. Les densités de l'air sont trop variables, & ses variations ne sont presque jamais assez connues. Ainsi il vaut beaucoup mieux tacher de déterminer immédiatement la force du vent, que de s'arrêter à la déduire de la mesure de sa vitesse. On a déja imaginé pour cela plusieurs instrumens sous le nom d'anémometres, entre lesquels on doit distinguer celui que nous a donné *M. Wolff* dans ses Elemens d'Aërométrie, & un autre qui indique, non-seulement la force du vent, mais qui en tient, pour ainsi dire regiſtre, que M. *d'Ons-en-bray* a communiqué dans les Mémoires de l'Académie. M. le Marquis *Poleni*, dans la Dissertation qui a remporté le prix de 1733, a aussi proposé un de ces instrumens, qui est fort ingenieux & qu'il est facile de rendre exact. C'est un plan suspendu par en haut, lequel étant exposé au choc du vent, doit s'éloigner plus ou moins de la situation verticale, selon que l'impulsion est plus ou moins grande. C'est par la quantité de l'inclinaison que M. *Poleni* prétend juger de la force de l'impulsion. On peut employer toutes ces machines avec succès; & à leur défaut on pourra se servir de celle que je vais proposer, qui est très-simple, & que j'ai trouvé commode dans l'usage que j'en ai fait.

Description d'un Instrument pour mesurer la force du Vent.

Notre Anémometre n'est autre chose qu'un morceau de carton très-leger appliqué à un espece de peson d'Allemagne. Le morceau de carton, qui est un quarré dont chaque côté a 6 pouces, est représenté dans la Figure 68 par le quarré ABDE, & est soutenu par la verge CF, qui entre dans le canon ou tuyau FG, & s'appuye contre un ressort *à boudin* qui est dans le fond de ce canon. On expose le morceau de carton au choc du vent, & selon que l'impulsion est plus ou moins grande, la verge CF qui est soutenue en F à son entrée dans le tuyau par un petit rouleau

Fig. 68.

Fig. 68. mobile sur son axe, afin de diminuer le frotement, comprime plus ou moins le ressort à boudin ; & on a en F sur la surface de la verge, qui est divisée en parties, la quantité de l'impulsion marquée en livres & en onces, de la même maniere quon a avec le peson d'Allemagne le poids des choses qu'on pese. Il se trouve cette seule différence entre ces deux instrumens, que l'anémometre est dans une agitation continuelle, à cause du peu d'égalité avec laquelle le vent soufle presque toujours. On observera ou la quantité moyenne de l'impulsion ou sa plus grande force, selon les diverses conséquences qu'on voudra tirer de cette connoissance. L'anémometre dont je me suis servi étoit précisement tel que le représente la Figure ; mais on pourroit lui donner diverses autres formes. On pourroit, par exemple, le mettre sur une petite table ; le canon FH seroit porté par deux soutiens perpendiculaires, & la voile AD, qui se reposeroit par sa partie inférieure AD sur la table, auroit deux petites roulettes en E & en D pour détruire le frottement.

Un des principaux avantages qu'a cet Instrument, c'est qu'il suffit de placer le morceau de carton parallelement à la surface des voiles, pour trouver l'impulsion que fait le vent sur chaque pied de surface, sans être obligé de faire attention à l'obliquité du choc. Il sera de cette sorte très facile de sçavoir l'impulsion totale qui fait singler le Navire ; & pour y mieux réussir, on peut, au lieu de la feuille de carton, mettre dans un chassis un morceau de la même toile dont les voiles sont faites : on apprendra de cette sorte quand il y aura à craindre pour la rupture de la mâture, ou qu'il y aura encore quelque accident plus grand à éviter. Je ne crois pas qu'on doive jamais se hasarder à soutenir un effort de 6 livres sur chaque pied quarré. Pour que le vent fît une pareille impression, il faudroit, comme je l'ai déja dit, qu'il eût en hyver en France une vîtesse à parcourir environ 50 pieds par seconde, & une d'environ 60 ou 63 pieds en eté, & il faudroit qu'il en eût encore une plus grande dans presque tous les endroits de la zone-torride.

Ce

Ce ne seroit cependant encore là que sa vîtesse relative, ou celle qu'il auroit par rapport au vaisseau, & avec laquelle il l'atteindroit : au lieu que la vîtesse absolue avec laquelle il choqueroit le navire qui se mettroit en *pane*, ou *côté à travers*, seroit beaucoup plus grande & le rendroit capable des plus grands efforts. A terre les hommes auroient de la peine à se soutenir, les arbres seroient arrachés, quelques édifices seroient renversés, &c. Fig. 68.

III.

La plus grande partie de notre Anémometre servira aussi, lorsqu'au lieu de mesurer l'effort du vent, on voudra mesurer l'effort de l'eau. Rien n'est plus facile dans un Port de mer & dans un attelier de construction, où l'on a toutes les choses sous la main, que de faire faire une petite proue en bois parfaitement semblable à celle d'un navire. Or si après l'avoir suffisamment chargée, on l'expose à une eau courante, & qu'ayant ôté de l'Anémometre (Fig. 68.) la voile ou surface AD, on soutienne avec l'extrémité de la verge CF la petite proue, contre le choc auquel elle sera sujette, on apprendra la valeur de l'effort en livres ou en onces. On verra aussi selon quelle direction se fait l'impulsion, puisqu'elle sera indiquée par la situation qu'il faudra donner à la verge CF, pour que la petite proue se maintienne constamment dans le même état. Enfin si on réitere la même expérience, en exposant au choc de l'eau une surface plane égale à la base du petit conoïde qui représente la proue, on sçaura, avec d'autant plus de précision combien la saillie ou convexité de l'avant du navire fait diminuer de fois l'impulsion qu'il reçoit, que cette connoissance ne se ressentira pas des erreurs que nous sommes exposés à commettre dans les systêmes que nous formons sur l'action des fluides.

Il est vrai que s'il n'étoit question que de trouver ce dernier rapport, on le découvriroit plus exactement par la machine très-simple dont je vais donner la description, & qu'on peut nommer *balance nautique*, vu sa construction & ses usages. BADC (Fig. 69.) représente la petite proue Fig. 69.

Fig. 69. faite en bois & parfaitement semblable à celle dont on veut savoir les propriétés ; & FEG est une planche taillée exactement de la même grandeur que la base BCD du conoïde qui forme la petite proue. On appliquera l'une & l'autre à une longue regle horisontale OP, qui pouvant tourner sur l'axe vertical KL, sert comme de fleau à la balance. L'axe KL sera une verge de fer, dont le mouvement de rotation sera facilité par la maniere dont elle se terminera en pivot vers ses deux extrémités, & les deux poupées M & N qui la soutiennent, pourront se placer en quel endroit on voudra du pieux vertical HI. Les deux poupées O & P qui soutiennent la petite proue d'un côté & la petite surface plane de l'autre, pourront aussi glisser le long de la regle horisontale ; & on les arrêtera par des vis. La machine étant construite de cette sorte, on la plongera dans une eau courante, en présentant la petite proue directement au courant, & en l'enfonçant jusqu'à ce qu'elle soit entierement submergée, de même que la surface EFG : & il n'y aura plus qu'à changer leur distance à l'axe KL, jusqu'à ce que les deux impulsions soient en équilibre, pour savoir par la longueur des deux bras de levier ausquels elles seront appliquées, le rapport qu'il y a entre les deux forces. Je n'ai que faire d'avertir que les deux impulsions seront en raison inverse des longueurs des deux bras de levier. Le même instrument servira aussi, si on le veut, à comparer deux proues immédiatement l'une à l'autre ; en appliquant à la balance deux petites proues qui leur soient semblables : & on pourra, si on le veut, pour plus de commodité, exposer la machine au vent, au lieu de l'exposer au choc de l'eau. Au reste, quoique ce moyen méchanique de juger de l'impulsion que souffrent les surfaces, puisse servir dans plusieurs rencontres, il est cependant à propos d'en avoir d'autres, qu'on puisse employer sans avoir recours à l'expérience. La méthode générale est de réduire les impulsions que souffrent les surfaces courbes, à celles que souffrent les surfaces planes : il faudra pour cela diviser les surfaces courbes en parties assez petites pour faire disparoître leur courbure.

CHAPITRE III.

De l'impulsion des fluides sur différentes figures, & premierement sur une proue formée de deux lignes droites.

I.

NOus commençons ce nouvel examen par le cas le plus simple de tous : nous supposerons que la proue BAD, (Fig. 70.) est formée de deux lignes droites AB, AD, que l'eau rencontre selon une infinité de paralleles à l'axe AC. L'angle d'incidence sera égal à l'angle BAC, ou à la moitié de l'angle BAD ; & si on multiplie chaque côté AB, ou AD, par le quarré du sinus de cet angle, qu'il est toujours aussi facile d'exprimer par lignes que par nombres, on aura l'impulsion absolue totale : impulsion qui s'exerce selon la perpendiculaire EF à chaque côté. Je suppose que cette impulsion sur AB, est représentée par l'espace même EF ; & je forme le rectangle EGFH, dont les côtés EG & FH sont paralleles à l'axe AC, & les autres côtés perpendiculaires. Il est clair que EG, ou HF, représentera en même tems la partie de l'impulsion qui s'exerce dans le sens parallele à l'axe ; & il n'est pas moins évident que cette partie est plus petite que l'impulsion absolue, dans le même rapport que BC est plus petite que AB ; puisqu'à cause des triangles semblables ABC & FEG, il y a même rapport de BC à AB, que de EG à EF. Ainsi si au lieu de chercher les impulsions absolues sur les côtés AB & AD, lesquelles se détruisent en parties, parce qu'elles sont en parties contraires, on ne veut avoir que les impulsions relatives directes, qui s'exerçant dans le sens exactement parallele à l'axe, s'aident mutuellement, il ne faut pas multiplier le quarré du sinus d'incidence par la longueur de chaque côté AB ou AD ; car on auroit les im-

Fig. 70.

Fig. 70. pulsions absolues: mais il faut multiplier ce quarré seulement par CB, ou par CD. On aura de cette sorte les deux impulsions relatives directes; il n'y a donc qu'à multiplier le quarré du sinus d'incidence par toute la base BD, pour avoir l'impulsion relative directe sur toute la proue.

Si l'angle en A, formé par les deux côtés de la proue, est de 60 degrés, l'angle d'incidence sera de 30, & son sinus étant la moitié du sinus total, le quarré de ce sinus sera quatre fois plus petit; d'où il suit que l'impulsion directe que recevra la proue, sera alors le quart de celle que recevroit la base BD, si elle étoit choquée par le fluide; car cette derniere impulsion seroit exprimée par le quarré même du sinus total, multiplié par BD. On voit de la même maniere que lorsque l'angle en A est droit, l'impulsion directe est la moitié de ce qu'elle feroit si le fluide pouvoit frapper la base BD; puisque l'angle d'incidence est de 45 degrés, & que le quarré de son sinus est la moitié du quarré du sinus total.

II.

De l'impulsion de l'eau sur une proue formée par un demi-cercle.

Fig. 71. Prenons pour second exemple un demi-cercle BAD, (Fig. 71.) choqué par un fluide qui vient rencontrer sa convexité, selon les directions perpendiculaires au diametre BD, ou paralleles au rayon AC. Si on conçoit la circonference de ce cercle partagée en une infinité de parties infiniment petites E*e*, & qu'on abaisse des points E & *e* des perpendiculaires EG & *eg* sur le diametre BD, ces perpendiculaires seront paralleles à la direction du fluide, & on pourra les prendre pour les sinus des angles d'incidence, puisque ces lignes seront les sinus des angles BCE, qui sont égaux à ceux E*e*F que fait la direction du fluide avec les petites parties E*e* de la circonference actuellement choquée. Ainsi pour avoir, conformément aux principes établis ci-devant, l'impulsion sur la petite partie E*e*, il n'y a qu'à multiplier cette petite partie par le quarré de EG.

Il est vrai qu'on aura de cettte sorte l'impulsion absolue ; c'est-à dire celle qui agit selon le rayon EC, ou selon la perpendiculaire à la partie même, au lieu que nous voulons avoir la seule impulsion relative selon EG, ou selon la détermination de l'axe, laquelle doit être plus petite que l'absolue, dans le même rapport que EG est plus petite que EC, ou que EF est plus petite que E*e*. Ainsi au lieu de multiplier le quarré du sinus EG d'incidence par E*e*, nous n'avons qu'à le multiplier par EF, ou par G*g*. Or c'est la même chose de toutes les autres parties de la circonference ; & pour avoir par conséquent l'impulsion directe que souffre la demi-circonference entiere, il suffit de chercher la somme de tous les produits des quarrés des sinus EG par les parties correspondantes G*g*.

Fig. 71. & 72.

La Géometrie fournit divers moyens pour trouver la somme de ces produits ; mais il me semble que voici le plus simple : On formera une pyramide triangulaire HBDI, (Fig. 72.) dont la hauteur BI sera égale au diametre BD du demi-cercle qui est sujet à l'impulsion, & dont la base sera un triangle BDH, qui a un angle droit formé des deux côtés BD & DH qui seront égaux au même diametre. On fera les parties BG & B*g* égales à BG & à B*g* de la figure 71, & on imaginera des plans NOPG, *nopg* perpendiculaires à la base & paralleles à DH, qui partageront la pyramide en une infinité de tranches infiniment peu épaisses. Il est évident que chaque de ces tranches exprimera l'impulsion relative directe que souffrira chaque partie E*e* de la demi-circonference. Car GP étant égale à BG, de même que GN est égale à GD, le rectangle NGPO sera égal au rectangle de BG par GD qui est égal, par la propriété du cercle, au quarré de GE ; & il suit delà que la tranche infiniment peu épaisse NGPO *ongp*, est égale au produit du quarré de GE par G*g*, & exprime par conséquent l'impulsion relative directe sur E*e*. Mais puisque c'est la même chose de toutes les autres tranches ; qu'elles sont continuellement proportionnelles aux petites impulsions directes ; il suffit de chercher la solidi-

Fig. 72. té entiere de la pyramide, qui a pour élemens toutes les tranches, ou de chercher la solidité de ses parties sensibles BGOI, ou NGCMO, (ce qui sera toujours facile) pour avoir l'impulsion relative directe, ou sur toute la demi-circonference BAD, ou sur quelqu'une de ses parties BE ou EA.

La solidité de la pyramide entiere est égale aux $\frac{4}{3}$ du cube du sinus total, ou du rayon CB. Car la base BDH est double du quarré du sinus total, ou égale à $2 \times \overline{BC}^2$; & il faut multiplier cette base par le tiers de BI, ou par les deux tiers de BC; ce qui donne pour la pyramide entiere $\frac{4}{3} \times \overline{BC}^3$. Cette solidité exprime l'impulsion que souffre toute la demi-circonference selon le sens direct. Mais si le fluide agissoit sur le diametre même BD, & perpendiculairement, l'impulsion seroit égale au quarré $\overline{BC}^2$ du sinus total, multiplié par le diametre même, ou par le double de BC; de sorte qu'elle seroit exprimée par le double du cube du sinus total, ou par $\frac{6}{3} \times \overline{BC}^3$. Ainsi il est sensible que l'impulsion que reçoit la demi-circonference BAD, est à celle que recevroit le diametre BD, s'il étoit choqué perpendiculairement par le fluide, comme 4 est à 6, ou que l'une est les deux tiers de l'autre: ce qui nous apprend que la courbure ou la saillie du demi-cercle qui est cause que chaque partie est frappée avec moins de force, fait diminuer l'impulsion précisément d'un tiers.

Nous avons vu que lorsque la proue est formée de deux lignes droites qui font en A un triangle droit, l'impulsion directe est diminuée de moitié. Cette proue rectiligne éprouve donc moins de résistance de la part de l'eau que la proue formée d'un demi-cercle: les deux résistances sont dans le rapport de 3 à 4; la premiere est d'un quart plus petite que l'autre. Mais nous démontrerons aussi que de toutes les proues terminées par un simple trait, c'est la proue rectiligne, qui ayant la même largeur BD, & la même saillie CA, est exposée à la moindre résistance possible

de la part du miliçu dans lequel elle ſe meut. Si on cherche de la même maniere l'impulſion dans le ſens relatif direct que reçoit un arc de cercle BE de 60 degrés, on trouvera qu'elle eſt les $\frac{5}{12}$ de celle que recevroit dans le même ſens la baſe BG, ſi elle étoit expoſée au choc : au lieu que l'impulſion que recevroit la corde de l'arc ſeroit ſeulement le quart ou les $\frac{3}{12}$ de celle que recevroit la baſe BG, & ſeroit donc les $\frac{3}{5}$ de celle que ſouffre l'arc.

III.

De l'impulſion que reçoit une parabole.

Suppoſons maintenant que la proue, au lieu d'être terminée par un arc de cercle, le ſoit par une parabole BAD, (Fig. 73.) dont AE eſt l'axe, & que le fluide, ſelon une infinité de lignes GB, *gb*, vienne la rencontrer parallelement à cet axe. L'angle d'incidence GB*b* ſur une partie infiniment petite B*b*, ſera égal à l'angle FBE formé par l'ordonnée BE, & par la perpendiculaire BF à la courbe. Comme la ſouperpendiculaire EF eſt conſtante, à cauſe de la propriété de la parabole, qu'elle eſt égale à la moitié du parametre, nous la deſtinons à ſervir de ſinus total, c'eſt donc par rapport à cette ligne que nous travaillerons à exprimer le ſinus d'incidence & ſon quarré. Je tranſporte pour cela FE en AC; je trace du point C, comme centre, l'arc de cercle AMO, & tirant du même point les lignes CG & C*g* juſqu'aux points G & *g*, où les paralleles BG & *bg* à l'axe rencontrent la tangente AG, tirée au ſommet de la parabole, nous aurons le triangle CAG égal au triangle FEB; & par conſéquent l'angle CGA ſera égal à l'angle d'incidence du fluide ſur la petite partie B*b* de la parabole. Du point A j'abaiſſe enſuite la perpendiculaire AH ſur CG; & l'angle CAH étant encore égal à l'angle d'incidence, nous aurons CH pour ſon ſinus, pendant que AC, qui eſt égale au demi-parametre, repréſentera le ſinus total. Cela ſuppoſé, nous n'avons plus qu'à abaiſſer du point

Fig. 73.

Fig. 73. H la perpendiculaire HI ſur AC, & la partie interceptée CI repréſentera le quarré du ſinus d'incidence. Car on aura la proportion continue || AC | HC | CI, qui nous apprend que CI eſt égale au quarré de HC diviſé par AC; & puiſque AC eſt conſtante, le ſegment CI ſera continuellement proportionnel au quarré de HC, ou au quarré du ſinus de l'angle d'incidence.

Il nous faudroit maintenant multiplier CI par la petite partie B*b* de la parabole, ſi nous voulions obtenir l'impulſion abſolue qu'elle reçoit, & qui s'exerce ſelon la perpendiculaire BF; mais voulant avoir la ſeule partie de l'impulſion qui agit dans le ſens parallele à l'axe, il nous faut ſimplement multiplier CI par BI, ou par ſon égal G*g*. Je prends pour l'unité la conſtante CA, qui nous a déja ſervi de ſinus total, & conſiderant que CA | G*g* || CI | KH, je reconnois que KH peut repréſenter le petit produit que nous cherchons, & qui exprime la petite impulſion relative directe ſur B*b*. Car KH eſt égale à $\frac{CI \times Gg}{CA}$, & eſt donc toujours proportionnelle à CI × G*g*. Enfin le petit triangle HLK étant ſemblable au grand CHA, il ne reſte plus qu'à remarquer que KH eſt plus grande que HL dans le même rapport que CA eſt plus grande que CH; mais que le petit arc M*m* du cercle AM, intercepté entre les lignes CG & C*g*, eſt auſſi plus grand que HL, préciſément dans le même rapport; puiſque l'un eſt à l'autre comme AC, ou MC, eſt à HC: ainſi le petit arc M*m* eſt égal à HK, & exprime donc auſſi l'impulſion directe du fluide ſur la petite partie B*b* de la parabole. Or comme le même raiſonnement peut s'appliquer à toutes les autres petites parties, il s'enſuit que l'impulſion relative dans le ſens de l'axe, ſur tout l'arc de parabole AB, eſt exprimée par la longueur entiere de l'arc de cercle AM.

Cette expreſſion eſt générale & peut s'appliquer à tous les arcs de parabole. Cette ligne courbe ne faiſant que naître, ſi nous conſidérons le petit arc qui part du ſommet, & qui ne differe pas de ſon ordonnée, nous aurons pour l'expreſſion

preſſion de l'impulſion qu'il reçoit, le petit arc de cercle qui partant auſſi du point A, ne differe pas de ſa tangente & qui eſt de même longueur que le petit arc de parabole, ou que ſon ordonnée. C'eſt-à-dire, que l'impulſion que ſouffrent les petites parties qui ſont expoſées perpendiculairement au choc, eſt repréſentée par leur longueur : & de là il ſuit que pendant que les arcs de cercle, comme AM, expriment les impulſions que reçoivent les arcs entiers AB de parabole, les impulſions que ſouffriroient les ordonnées EB, ſi le fluide pouvoit parvenir juſqu'à les frapper, ſeroient exprimées par la propre longueur de ces ordonnées, ou par les tangentes AG qui leur ſont égales. Ces dernieres impulſions augmenteroient à l'infini à meſure qu'on prolongeroit la parabole ; au lieu que la ligne courbe a cette proprieté ſinguliere, que l'impulſion qu'elle reçoit a un terme auquel elle ne parvient jamais : il faudroit étendre à l'infini chaque de ſes branches, pour que l'impulſion ſur chaque côté fût exprimée par l'arc AO, qui eſt le quart du cercle. Si on fait paſſer par le foyer une ordonnée BD, la partie de la parabole retranchée vers le ſommet recevra ſeule autant d'impulſion que tout le reſte. En effet, l'impulſion pour chaque moitié ſera repréſentée par l'arc AM qui eſt de 45 degrés ; l'ordonnée BE étant dans ce cas égale à la moitié du parametre, & le triangle CAG étant iſoſcelle.

Fig. 75.

CHAPITRE IV.

Méthode générale de trouver les impulſions des fluides ſur les lignes courbes ; avec quelques remarques ſur ces impulſions.

ON peut découvrir avec le même ſuccès, en employant la ſeule analyſe des Géometres, l'impulſion des fluides ſur pluſieurs autres lignes courbes : mais il n'eſt que trop

ſouvent néceſſaire, pour réuſſir dans ces ſortes de recherches, d'avoir recours au calcul algébrique. C'eſt auſſi par ce ſeul moyen qu'on peut parvenir à des vues plus étendues, ou plus univerſelles. Nous croyons donc qu'au lieu de continuer plus long-tems un examen qui ne ſeroit toujours que particulier, il vaut mieux nous hâter de nous élever à la conſidération générale de toutes les lignes courbes frappées par les fluides.

I.

De l'impulſion dans le ſens de l'axe.

Fig. 74. Soit BAD (Fig. 74.) une ligne courbe dont AC eſt l'axe & dont les deux branches AB & AD ſont parfaitement égales. Je nomme x les parties variables AC ou AH de l'axe, & y les ordonnées correſpondantes BC ou EH ; pendant que dx exprimera les parties infiniment petites Hh de l'axe, & dy les différentielles EF des ordonnées. Je ſuppoſe de plus, pour n'être pas obligé d'y revenir une ſeconde fois, que le fluide ſe meut ſelon des lignes obliques LeI, LeI qui font avec l'axe de la courbe, ou avec les paralleles eF à l'axe, des angles FeI, dont m eſt la tangente & $\sqrt{n^2 + m^2}$ la ſécante, pendant que n déſigne le ſinus total. Ces angles FeI repréſentent l'obliquité de la route, ou la quantité de la dérive, ſuppoſé que la courbe BAD ſoit la proue d'un navire projetté ſur un plan horiſontal, & que A ſoit ſon extrémité. L'angle d'incidence eſt ici EeI, lequel eſt plus grand d'un côté & plus petit de l'autre; plus grand ſur la moitié de la courbe que le fluide frappe plus directement. Du point I j'abaiſſe la perpendiculaire IK ſur la partie Ee ; cette perpendiculaire repréſentera le ſinus de l'angle d'incidence, étant comparée à eI priſe pour ſinus total. Il eſt très-facile de trouver l'expreſſion de cette ligne IK : je cherche pour cela FI, par cette analogie ; le ſinus total n eſt à la tangente m de l'angle FeI, comme $e\text{F} = dx$ eſt à $\text{FI} = \frac{mdx}{n}$, que j'ajoute à $\text{EF} = dy$, ou que j'ôte de cette petite ligne,

pour avoir $dy \pm \frac{mdx}{n}$ pour la valeur de EI. Je cherche eI, Fig. 74.
par cette analogie; le sinus total n est à la sécante $\sqrt{n^2 + m^2}$ de l'angle FeI, comme eF $= dx$ est à eI $= \frac{dx\sqrt{n^2+m^2}}{n}$. Considerant ensuite que les petits triangles EKI & EFe sont semblables, je fais cette autre proportion, E$e = \sqrt{dx^2 + dy^2}$ | F$e = dx$ || EI $= dy \pm \frac{m}{n} dx$ | KI $= \frac{dxdy \pm \frac{m}{n} dx^2}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}$. Enfin, nous n'avons qu'à faire cette derniere analogie que nous fournit le triangle eIK, l'hypoténuse eI $= \frac{dx\sqrt{n^2+m^2}}{n}$ est au sinus total n, comme IK $= \frac{dxdy \pm \frac{m}{n} dx^2}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$ est à $\frac{n^2 dy \pm nmdx}{\sqrt{n^2+m^2}\sqrt{dx^2+dy^2}}$, & nous aurons l'expression du sinus de l'angle d'incidence IeK. Cette expression en contient réellement deux; la premiere $\frac{n^2 dy + nmdx}{\sqrt{n^2+m^2}\sqrt{dx^2+dy^2}}$ convient à la moitié AB de la courbe, & la seconde $\frac{n^2 dy - nmdx}{\sqrt{n^2+m^2}\sqrt{dx^2+dy^2}}$ à l'autre moitié.

Si on vouloit avoir l'impulsion absolue sur la petite partie Ee, il n'y auroit qu'à multiplier le quarré $\frac{n^4 dy^2 \pm 2n^3 mdxdy + n^2 m^2 dx^2}{\overline{n^2+m^2} \times \overline{dx^2+dy^2}}$ de ce sinus par la partie même E$e = \sqrt{dx^2 + dy^2}$. Mais comme toutes ces impulsions absolues auroient des directions obliques les unes par rapport aux autres, on ne pourroit pas savoir ensuite leur effet total ou commun par une simple addition; au lieu que ce ne sera pas la même chose, si décomposant chaque impulsion absolue, on cherche l'impulsion relative dans le sens précisément parallele à l'axe AC. Il est d'ailleurs toujours permis de considerer la petite partie Ee de la courbe, comme si elle étoit une petite portion des côtés

Fig. 74. rectilignes AB ou AD de la proue BAD de la figure 70 ; ainsi on peut exécuter ici ce qu'on a déja exécuté dans le Chapitre précédent. Le quarré du sinus de l'angle d'incidence, multiplié par Ee, nous donneroit la petite impulsion absolue, & ce même quarré multiplié par EF nous donnera l'impulsion relative dans la détermination de l'axe ; parce que cette derniere impulsion est plus petite que l'autre, dans le même rapport que EF est moindre que Ee. La regle est générale : si on vouloit avoir l'impulsion relative que souffre Ee dans le sens latéral perpendiculaire à l'axe AC, il faudroit multiplier le quarré du sinus d'incidence par eF, qui est la partie Ee projettée sur un plan ou sur une ligne perpendiculaire à la direction selon laquelle on veut avoir l'impulsion relative. Enfin si nous multiplions $\frac{n^4 dy^2 \pm 2n^3 mdxdy + m^2 n^2 dx^2}{\overline{n^2 + m^2} \times \overline{dx^2 + dy^2}}$ par $EF = dy$, nous aurons $\frac{n^4 dy^3 \pm 2n^3 mdxdy^2 + m^2 n^2 dx^2 dy}{\overline{n^2 + m^2} \times \overline{dx + dy^2}}$, pour l'impulsion relative requise dans la détermination de l'axe ; & puisque l'impulsion relative directe sur toute la courbe est formée de toutes ces petites impulsions, nous n'avons qu'à en prendre la somme infinie, ou l'intégrale

$\int \frac{n^4 dy^3 \pm 2n^3 mdxdy^2 + n^2 m^2 dx^2 dy}{\overline{n^2 + m^2} \times \overline{dx^2 + dy^2}}$, & nous aurons l'impulsion relative directe sur chaque moitié de la courbe ; sur la moitié AB, lorsque nous employerons le signe $+$ qui est au second terme, & sur l'autre moitié, lorsque nous nous servirons du signe $-$.

Au lieu de chercher l'impulsion sur chaque moitié de la courbe séparément, on peut la chercher aussi sur la courbe entiere, en ajoutant ensemble les deux impulsions particulieres $\int \frac{n^4 dy^3 + 2n^3 mdxdy^2 + n^2 m^2 dx^2 dy}{\overline{n^2 + m^2} \times \overline{dx^2 + dy^2}}$ & . . . . . .

$\int \frac{n^4 dy^3 - 2n^3 mdxdy^2 + n^2 m^2 dx^2 dy}{\overline{n^2 + m^2} \times \overline{dx^2 + dy^2}}$: il viendra . . . . . .

$\int \frac{2n^4 dy^3 + 2n^2 m^2 dx^2 dy}{\overline{n^2 + m^2} \times \overline{dx^2 + dy^2}}$ qui exprime donc l'impulsion relative directe totale.

Cette derniere formule se réuit à $\int \frac{2n^2 dy^3}{dx^2 + dy^2}$, lorsque le fluide se meut parallelement à l'axe, ou que l'obliquité de la route est nulle; parce qu'alors la tangente devenue égale à zero, fait disparoître les termes qu'elle multiplie. Il semble d'abord que l'entiere solution du Problême est plus difficile dans les autres cas; mais elle ne l'est pas réellement : car toutes les fois qu'on peut avoir l'intégrale exacte de $\int \frac{dy^3}{dx^2 + dy^2}$, on peut l'obtenir également de $\int \frac{2n^4 dy^3 + 2n^2 m^2 dx^2 dy}{\overline{n^2 + m^2} \times \overline{dx^2 + dy^2}}$. Cela vient de ce qu'on peut trouver une certaine grandeur, qui ajoutée au premier terme de la quantité $\int \frac{2n^4 dy^3 + 2n^2 m^2 dx^2 dy}{\overline{n^2 + m^2} \times \overline{dx^2 + dy^2}}$ ne le rend pas plus difficile à intégrer, & qui soustraite en même-tems du second terme, afin de conserver à la quantité totale la même valeur, rend toujours infailliblement ce second terme intégrable. Cette grandeur, qu'on doit ajouter à un terme & soustraire de l'autre, est $\frac{2n^2 m^2 dy^3}{\overline{n^2 + m^2} \times \overline{dx^2 + dy^2}}$ de sorte que nous aurons pour la quantité élementaire totale . . .

$$\frac{2n^4 dy^3 - 2n^2 m\ dy^3 + 2n^2 m^2 dx^2 dy + 2n^2 m^2 dy^3}{\overline{n^2 + m^2} \times \overline{dx^2 + dy}} \text{ ou } \frac{2n^4 - 2n^2 m^2}{n^2 + m^2}$$

$\times \frac{dy^3}{dx^2 + dy^2} + \frac{2n^2 m^2}{n^2 + m^2} \times \frac{dx^2 dy + dy^3}{dx^2 + dy^2}$ qui se réduit à . .

$\frac{2n^4 - 2m^2 n^2}{n^2 + m^2} \times \frac{dy^3}{dx^2 + dy^2} + \frac{2n^2 m^2}{n + m^2} dy$, dont l'intégrale est effectivement $\frac{2n^4 - 2n^2 m^2}{n^2 + m^2} \int \frac{dy^3}{dx^2 + dy^2} + \frac{2n^2 m^2}{n^2 + m^2} y$.

Ainsi, que le fluide se meuve parallelement à l'axe de la courbe, ou qu'il suive quelqu'autre direction, il n'y a pas sensiblement plus de difficulté à trouver l'impulsion relative directe dans un cas que dans l'autre : il n'y a toujours que la seule quantité $\frac{dy^3}{dx^2 + dy^2}$ à intégrer. Si cette intégration étant achevée, nous désignons par A, la quantité

Fig. 74.

Fig. 74. $2n^2\int\frac{dy^3}{dx^2+dy^2}$, ou l'impulſion que ſouffre la courbe entiere lorſque le fluide la choque parallelement à ſon axe, nous aurons auſſi-tôt en termes parfaitement connus, l'impulſion $\frac{n^2-m^2}{n^2+m^2}A+\frac{2n^2m^2}{n^2+m^2}y$ que ſouffre la même courbe, lorſque le fluide ſe meut ſelon toute autre direction.

Mais notre formule $\frac{n^2-m^2}{n^2+m^2}A+\frac{2n^2m}{n^2+m^2}y$, ou ſon équivalente $\int\frac{2n^2dy^3+2n^2m^2dx^2dy}{n^2+m^2\times dx^2+dy^2}$ devient encore beaucoup plus ſimple & acquiert même une ſimplicité capable de cauſer quelque ſorte de ſurpriſe, lorſque l'obliquité de la route eſt exactement de 45 degrés, ou lorſque la direction du fluide fait préciſement un angle demi-droit avec l'axe de la courbe. La tangente m ſe trouve égale au ſinus total n, & la formule $\frac{n^2-m^2}{n^2+m^2}A+\frac{2n^2m^2}{n^2+m^2}y$ ſe réduit à n^2y, pendant que l'autre formule $\int\frac{2n^4dy^3+2n^2m^2dx^2dy}{n^2+m^2\times dx^2+dy^2}$ qui ſe change en $\int\frac{2n^4dy^3+2n^4dx^2dy}{2n^2\times dx^2+dy^2}$ & en $\int n^2dy$, ſe réduit à la même quantité.

On voit donc, dans cette circonſtance particuliere, que l'impulſion relative directe ne dépend ni de la nature de la courbe qui la reçoit, ni de ſa ſaillie, ou de la longueur de ſon axe AC, mais ſeulement de ſa largeur BD, ou de ſa plus grande ordonnée. Que la courbe BAD ſoit un arc de cercle, ou une parabole, ou une hyperbole, qu'elle ſoit géométrique ou méchanique, &c. que ſon axe ſoit plus ou moins long; auſſi-tôt qu'elle n'a que la même largeur BD, l'impulſion qu'elle reçoit dans le ſens de ſon axe par un fluide qui vient la rencontrer avec une obliquité de 45 degrés, eſt toujours exactement la même, & eſt égale à la moitié du quarré du ſinus total, multipliée par la largeur BD; c'eſt-à-dire, qu'elle eſt réduite à la moitié de celle que recevroit la largeur BD frappée perpendiculairement.

Cette impulsion est aussi la même que celle que recevroit la ligne droite BD frappée avec une obliquité de 45 degrés, puisque cette droite peut être considérée comme une courbe BAD dont l'axe AC est infiniment petit. J'avois déja indiqué * cette proprieté singuliere de toutes les courbes dont les deux moitiés sont parfaitement égales de part & d'autre de leur axe ; mais je ne l'avois pas démontrée. Je m'étois contenté de faire voir une propriété correspondante dans les conoïdes, & de dire qu'il y avoit quelquelque chose de semblable dans toutes les autres figures.

Fig. 74.

* Traité de la mâture des vaisseaux, page 157.

Au reste, ce que l'Algébre vient de nous indiquer, & ce qu'on ne se seroit peut-être pas avisé de chercher, si le calcul Analytique ne l'avoit fourni, se peut voir maintenant, avec la derniere évidence, par les seules lumieres de la Géometrie la plus commune. Lorsque le fluide suit une direction qui fait un angle demi-droit avec l'axe AC, il fait beaucoup plus d'impression sur un côté de la courbe que sur l'autre : mais si on examine l'impulsion que reçoivent deux petites parties correspondantes, ou également situées de part & d'autre de l'axe, on verra qu'il se fait une espece de compensation, & qu'autant que le quarré d'un des sinus d'incidence est plus grand que la moitié du quarré du sinus total, le quarré de l'autre sinus d'incidence est plus petit. C'est donc précisément la même chose que si ces deux petites parties étoient frappées avec une incidence dont le quarré fût égal à la moitié du quarré du sinus total : & cela est vrai quelle que soit la situation des deux petites parties, pourvû qu'elles soient pareillement situées par rapport à l'axe d'un côté que de l'autre. Tel est le dénouement du paradoxe que nous ne croyons pas devoir expliquer plus au long. Il ne nous reste plus qu'à dire un mot de l'impulsion relative latérale.

II.

De l'impulsion dans le sens latéral, ou dans le sens perpendiculaire à l'axe.

Fig. 74. Il faut, conformément à ce que nous avons vû ci-devant, multiplier le quarré $\frac{n^4 dy^2 \pm 2n^3 mdxdy + n^2 m^2 dx^2}{\overline{n^2+m^2} \times \overline{dx^2+dy^2}}$ du sinus de l'angle d'incidence EeI, par $eF = dx$; & nous aurons $\frac{n^4 dy^2 dx \pm 2n^3 mdx^2 dy + n^2 m^2 dx^3}{\overline{n^2+m^2} \times \overline{dx^2+dy^2}}$ pour l'impulsion relative latérale que reçoit chaque petite partie Ee. Si on prend ensuite l'intégrale $\int \frac{n^4 dy^2 dx \pm 2n^3 mdx^2 dy + n^2 m^2 dx^3}{\overline{n^2+m^2} \times \overline{dx^2+dy^2}}$, on aura l'impulsion latérale sur chaque moitié entiere de la courbe; sur la moitié AB, ou sur la moitié AD, selon qu'on employera le signe + ou le signe —. Mais comme ces deux différentes impulsions latérales sont opposées, il ne faut pas les ajouter ensemble; il faut au contraire soustraire la plus foible de la plus forte, pour avoir l'impulsion latérale qui prévaut, ou que reçoit la courbe entiere. Il vient $\int \frac{4n^3 mdx^2 dy}{\overline{n^2+m^2} \times \overline{dx^2+dy^2}}$, ou $\frac{4n^3 m}{n^2+m^2} \int \frac{dx^2 dy}{dx^2+dy^2}$, qui convient, de même que les formules précédentes, à toutes les courbes dont les deux branches, de part & d'autre de l'axe, sont parfaitement égales.

On peut remarquer que comme cette derniere formule a beaucoup de rapport au second terme de l'impulsion relative directe sur toute la courbe, on peut l'integrer par le même moyen. On ne changera point la valeur de la quantité élementaire, en lui ajoutant $\frac{4n^3 m}{n^2+m^2} \times \frac{dy^3}{dx^2+dy^2}$ aussitôt qu'on en soustraira cette même grandeur sur le champ. C'est-à-dire, qu'au lieu d'opérer sur $\frac{4n^3 m}{n^2+m^2} \times \frac{dx^2 dy}{dx^2+dy^2}$, on

on peut le faire également sur $\frac{4n^3 mdx^2 dy + 4n^3 mdy^3}{n^2 + m^2 \times dx^2 + dy^2}$ — ne pourroit pas avoir des regles tout d'une seule piece ? $\frac{4n^3 mdy^3}{n^2 + m^2 \times dx^2 + dy^2}$. Or cette derniere expression est réduite à $\frac{4n^3 mdy}{n^2 + m^2} - \frac{4n^3 mdy^3}{n^2 + m^2 \times dx^2 + dy^2}$, & son intégrale est $\frac{4n^3 m}{n^2 + m^2} y - \frac{4n^3 m}{n^2 + m^2} \int \frac{dy^3}{dx^2 + dy^2}$, ou $\frac{4n^3 m}{n^2 + m^2} y - \frac{2nm}{n^2 + m^2} A$, si on met A, comme ci-devant, à la place de $2n^2 \int \frac{dy^3}{dx^2 + dy^2}$ qui indique l'impulsion relative directe, lorsque le mouvement se fait exactement selon l'axe.

Fig. 74.

III.

Ainsi on voit encore une fois que toute la difficulté qu'il y a dans ces sortes de discussions ne consiste qu'à trouver l'impulsion relative directe, pour le seul cas où le fluide se meut selon l'axe de la courbe. Cette impulsion étant trouvée, il n'importe de quelle maniere, on aura toujours $\frac{n^2 - m^2}{n^2 + m^2} A + \frac{2n^2 m^2}{n^2 + m^2} y$ pour les impulsions relatives directes pour tous les autres cas, & on aura en même tems $\frac{4n^3 my - 2nmA}{n^2 + m^2}$ pour l'impulsion relative latérale ; il suffit de se ressouvenir que y désigne la moitié de la plus grande largeur, ou la moitié de l'ordonnée entiere BD de la courbe, & que m marque la tangente de l'obliquité de la direction du fluide, pendant que n désigne le sinus total. supposé qu'on eût trouvé l'impulsion A par l'expérience, il n'y auroit qu'à chercher par le même moyen l'impulsion que recevroit la demi largeur BC exposée directement au choc, & l'introduire à la place de $n^2 y$.



CHAPITRE V.

De l'impulsion des fluides sur les surfaces courbes.

ON peut examiner à peu près de la même maniere les surfaces courbes, par rapport à l'impulsion qu'elles reçoivent; quoique la discussion en doive être ordinairement plus compliquée, à cause de l'attention expresse qu'il faut avoir à la double courbure dont elles sont capables. Je me contenterai de chercher les impulsions que souffrent deux différentes figures; l'une à cause de son extrême simplicité; l'autre à cause de l'application extrêmement étendue qu'on en peut faire.

I.

De l'impulsion que souffre une proue conique.

Fig. 25. 1°. Supposons d'abord que la proue DBLF (Fig. 25.) est un cône droit, ou pour parler plus exactement, est un demi-cône, dont BE est l'axe, & le demi-cercle DFL la base. Il est évident, vu la régularité de cette figure, que toutes les parties en seront frappées précisément avec la même obliquité, ou avec la même incidence, aussi-tôt que le mouvement de la proue, ou le mouvement de l'eau qui viendra la rencontrer, se fera parallelement à l'axe BE. Ainsi le quarré du sinus de l'angle d'incidence étant le même pour toutes les parties de la surface, il faudroit le multiplier par l'étendue de toutes ces parties, si on vouloit avoir la somme des impulsions absolues qui s'exercent selon une infinité de différentes perpendiculaires à la surface. Mais puisque nous ne voulons obtenir que l'impulsion relative horisontale directe, ou l'impulsion particuliere qui s'exerce dans la détermination parallele à l'axe BE, il faut chercher la projection de chaque partie de la surface conique dans le plan de la base

DFL, qui eſt perpendiculaire à la direction dont il s'agit, & multiplier le quarré du ſinus de l'angle d'incidence par l'étendue de ces projections. Or toutes ces projections jointes enſemble, forment la baſe entiere DFL; d'où il ſuit que pour avoir l'impulſion relative directe que ſouffre la proue entiere, il faut multiplier le quarré du ſinus de l'angle d'incidence par l'étendue de la baſe DFL.

Fig. 25.

L'impulſion relative directe eſt par conſéquent diminuée par la ſaillie de la proue, dans le même rapport que le quarré du ſinus de l'angle d'incidence, qui eſt égal à l'angle LBE, que font les côtés du cône avec l'axe, eſt plus petit que le quarré du ſinus total. Si l'angle LBE eſt de 45 degrés, le quarré du ſinus de l'angle d'incidence ſera la moitié du quarré du ſinus total; & la proue conique ne recevra que la moitié de l'impulſion que recevroit la baſe DFL, ſuppoſé que le fluide la frappât perpendiculairement. Par la même raiſon, ſi l'angle LBE eſt d'environ 18 degrés 26 minutes, ou ſi l'axe BE eſt triple du rayon EL de la baſe DFL, la figure aigue du cône ſera cauſe que l'impulſion ſera dix fois moindre: car le quarré de EL étant 1, le quarré de BE ſera 9, & celui de BL ſera 10; & il eſt évident que le quarré de BL comparé à celui de EL, marque le rapport du quarré du ſinus total au quarré du ſinus de l'angle d'incidence. En général ſi n marque le nombre de fois dont l'axe eſt plus grand que le rayon de la baſe, le nombre $n^2 + 1$ marquera combien de fois l'impulſion directe eſt diminuée par la ſaillie du cône. Il eſt clair auſſi que puiſque toutes les parties du demi-cercle, multipliées par le quarré du ſinus d'incidence, repréſentent également les impulſions relatives directes que ſouffrent les parties correſpondantes de la ſurface conique, l'impulſion directe que ſouffre la proue entiere doit s'exercer ſur une direction qui paſſe par le centre de gravité du demi-cercle DFL.

2°. Il ne doit pas être plus difficile de découvrir l'impulſion que ſouffre la proue dans le ſens vertical, ou la quantité de la force dont elle eſt pouſſée verticalement de bas

Fig. 15. en haut par la rencontre du fluide. Il faut, pour avoir chacune des petites impulsions que souffrent dans ce sens les parties de la surface conique, multiplier le quarré du sinus de l'angle d'incidence par les petites parties correspondantes du plan DBL qui en sont les projections; pour avoir l'impulsion relative verticale entiere, il n'y a donc qu'à multiplier le quarré du sinus d'incidence par toute l'étendue du triangle DBL.

3°. Il suit de tout cela que l'impulsion relative que souffre la proue conique dans le sens horisontal de son axe, est à l'impulsion relative qu'elle souffre dans le sens vertical, comme l'étendue du demi-cercle DFL est à l'étendue du triangle DBL. Ces deux étendues sont égales, l'une au rectangle de EL par la moitié FL de la demi-circonference DFL, & l'autre au rectangle de EL par EB. Ainsi elles sont l'une à l'autre comme FL est à EB; & par conséquent les impulsions relatives, directe & verticale, sont entr'elles dans le même rapport; l'une est à l'autre comme l'arc du quart de cercle FL est à l'axe EB. Si on veut donc obtenir la force absolue avec laquelle la proue est poussée par le concours de ces deux impulsions, il n'y a qu'à tirer une ligne horisontale VX, qui passe par le centre de gravité du demi-cercle DFL, & une verticale VY, qui passe par le centre de gravité du triangle DBL. Ces deux lignes représenteront les directions des deux impulsions relatives; & si on prend depuis le point d'intersection V, des espaces VX & VY, pour représenter ces deux forces, & qui soient en même raison que l'arc FL & la droite BE, il n'y aura, conformément aux regles de la composition des mouvemens, qu'à achever le rectangle YVXZ; sa diagonale VZ indiquera la direction de l'impulsion composée, ou absolue, & exprimera en même tems la grandeur de cette impulsion.

4°. Au reste il est facile de remarquer que les mêmes raisonnemens sont applicables à la proue conique qui ne plongeroit qu'en partie dans l'eau; qui n'enfonceroit, par exemple, que jusqu'au tiers, ou au quart du rayon EF, ou

qui auroit donc son axe BE élevé au-dessus de l'eau d'une certaine quantité. L'impulsion directe dans le sens horisontal seroit représentée par l'étendue du segment de la base DFL, qui se trouveroit submergé; & l'impulsion relative verticale, par l'étendue de la coupe du cône faite à fleur d'eau parallelement à l'axe BE. Cette coupe sera une hyperbole qui redeviendra le triangle DBL, lorsque la proue sera entierement submergée. Dans tous ces cas les deux impulsions relatives s'exerceront toujours sur des directions qui passeront par le centre de gravité des surfaces qui les représentent.

Fig. 25.

II.

De l'impulsion que souffre une proue conoïdale formée par la circonvolution d'un arc de cercle.

1. Courbons maintenant les côtés BL & BD de la proue, & au lieu de lignes droites, faisons-en des arcs de cercle, & formons la proue par la circonvolution d'un de ces arcs autour de l'axe BE. Nous pouvons de cette sorte imiter sensiblement la forme d'une infinité de différens conoïdes, selon que nous prendrons l'arc du cercle générateur BL en differens endroits du quart de cercle IBL. Lorsque nous ferons commencer l'arc BL à moins de distance du point I, ou que nous prendrons pour axe BE de la proue un sinus qui approchera davantage d'être égal au rayon IH, nous obtiendrons une proue plus obtuse: ce sera le contraire lorsque nous diminuerons l'arc BL; & nous pourrons encore, si nous le voulons, au lieu de prendre l'arc BL entier, nous arrêter à quelqu'une de ses parties comme BK, en ne formant la proue qu'avec le conoïde partial QBKP.

Si nous considerons sur la surface de ce conoïde une zone QpK, formée par la révolution de l'arc infiniment petit Kk, toutes les parties de cette zone seront frappées avec la même incidence par le fluide qui se meut selon des paralleles à l'axe BE, & on pourra prendre la ligne KM,

Fig. 25. ſinus de l'arc KL, pour le ſinus d'incidence. Car cette même ligne KM peut être regardée comme la direction du fluide dont elle eſt le prolongement; & l'angle d'incidence qu'elle fait avec la ſurface du conoïde, ou avec la petite ligne Kk, ou avec la tangente à l'arc de cercle au point K, a pour meſure l'arc KL, dont KM eſt le ſinus. Ainſi pour avoir l'impulſion que ſouffre dans le ſens direct parallele à l'axe BE, la zone QpK, il n'y a qu'à multiplier le quarré du ſinus KM de l'angle d'incidence, par l'étendue de la zone projettée ſur le plan DFL : c'eſt-à-dire par la couronne ou anneau RtM.

Mais le quarré de KM eſt continuellement égal, à cauſe de la propriété du cercle, au quarré du rayon HI moins le quarré de HM; & comme nous pouvons mettre à la place du quarré de HM, le quarré de HE, joint à deux rectangles de HE par EM, & au quarré de EM, nous aurons à la place du quarré du ſinus d'incidence KM, cette quantité $HI^2 - HE^2 - 2HE \times EM - EM^2$, ou $BE^2 - 2HE \times EM - EM^2$, parce que le ſeul quarré de BE eſt égal à $HI^2 - HE^2$. Nous aurons donc l'impulſion relative directe ſur chaque zone QpK, en multipliant la quantité $BE^2 - 2HE \times EM - EM^2$ par l'étendue de chaque anneau correſpondant RtM; & ſi nous réuſſiſſons à trouver la ſomme infinie de tous ces produits, nous obtiendrons l'impulſion directe ſur toute la ſurface conoïde.

Chaque de ces produits eſt formé de trois termes. Premierement le quarré BE^2 qui eſt la premiere partie, & une partie conſtante du quarré $BE^2 - 2HG \times EM - EM^2$ du ſinus de l'angle d'incidence, doit être multiplié par chaque petit anneau RtM; & puiſqu'il faut faire la même choſe pour toutes les autres zones de la ſurface conoïdale, nous aurons la ſomme de tous les premiers termes, en multipliant le quarré de BE par l'étendue entiere du demi-cercle DLF, qui eſt la ſomme de tous les anneaux. Nommant donc E l'étendue de la baſe DLF, ou QPK, du conoïde DBLF ou QBPK qui forme la proue, nous aurons $BE^2 \times E$ pour la ſomme des premiers termes de l'impulſion directe.

Les feconds termes ne font autre chofe que les produits de $2HE \times EM$ par l'étendue des anneaux RtM ; & il eft évident que ces anneaux croiffent en même raifon que EM qui leur fert de rayon, pendant qu'on fuppofe conftante leur largeur infiniment petite Tt. Par conféquent les produits de $2EH \times EM$ par l'étendue de chaque anneau correfpondant, croiffent comme les quarrés de EM, ou croiffent comme les quarrés de quantités qui augmentent en progreffion arithmetique ; ils croiffent comme les tranches d'un cône, ou d'une pyramide, faites perpendiculairement à l'axe : & pour avoir leur fomme infinie, il n'y a qu'à multiplier le plus grand de ces produits par le tiers de leur multitude. Il eft clair que cette multitude eft repréfentée ici par EL ; & il n'eft pas moins évident que la plus grande de ces quantités eft $2HE \times EM$ devenue $2HE \times EL$, & multipliée par le circuit DFL du plus grand anneau ; c'eft-à-dire que cette quantité eft $2HE \times EL \times DFL$, ou $4HE \times \frac{1}{2} EL \times DFL$, ou enfin $4HF \times E$, en mettant l'étendue E à la place du produit $\frac{1}{2} EL \times DFL$ qui lui eft égal. Si toutes ces quantités dont $4HE \times E$ eft la derniere, étoient égales entr'elles, il nous faudroit encore multiplier $4HE \times E$ par EL qui eft la fomme de toutes les petites largeurs Mm qui doivent entrer auffi dans le produit ; mais vu la progreffion qu'elles fuivent, il ne faut multiplier que par $\frac{1}{3}$ EL, & nous aurons donc $\frac{4}{3} HE \times EL \times E$ pour la fomme infinie de tous les feconds termes de l'impulfion. Fig. 15.

Il nous refte à trouver la fomme des troifiemes termes qui font les produits de EM^2 par l'étendue de chaque anneau correfpondant RtM. Ces produits augmentent comme les cubes de EM ; & il faut par conféquent multiplier le plus grand de ces produits par le quart de leur multitude. C'eft-à-dire que $EL^2 \times DFL$ qu'il faudroit multiplier par EL, fi toutes ces quantités qu'il s'agit de fommer, étoient égales entr'elles, ne doit être multipliée que par le quart de EL. Mais $EL^2 \times DFL$ eft égal à $2EL \times \frac{1}{2} EL \times DFL$, ou à $2EL \times E$, lorfqu'on met l'étendue E à la place de $\frac{1}{2} EL \times DFL$. Ainfi il nous vient $\frac{1}{2} \times EL^2 \times E$ pour

Fig. 25. pour la somme infinie des troisiemes termes.

Réunissant maintenant les sommes des trois termes qui composent l'impulsion directe, nous aurons pour cette impulsion $BE^2 \times E - \frac{4}{3} HE \times EL \times E - \frac{1}{2} \times EL^2 \times E$, ou la quantité $BE^2 - \frac{4}{3} HE \times EL - \frac{1}{2} \times EL^2$ multipliée par l'étendue E. Dans les cas où la proue ne sera formée que par le conoïde partial QBKP, au lieu du rayon EL de la base DFL, il faudra employer le rayon NK de la base QPK ; & E désignant l'étendue de cette seconde base, ou aura $BE^2 - \frac{4}{3} HE \times NK - \frac{1}{2} \times NK^2$ multiplié par E, pour l'impulsion que recevra dans le sens de son axe le conoïde partial QBKP.

Supposé que HE se réduise à rien, ou qu'on prenne HI pour axe du conoïde, le second terme de la quantité précédente disparoîtra, BE deviendra IH, & l'impulsion que recevra la surface sphérique formée par la révolution de l'arc IK, sera exprimée par $IH^2 - \frac{1}{2} \times SK^2$ multiplié par E, qui désignera alors l'étendue du demi-cercle dont SK est le rayon.

Enfin, si la proue est formée par la révolution du quart de cercle entier IL, l'impulsion sera $IH^2 - \frac{1}{2} \times HL^2$, ou $\frac{1}{2} \times IH^2$ multiplié par E ; ce qui montre que la convexité de l'hemisphere fait diminuer de moitié l'impulsion directe. Car si la surface E étoit exposée elle-même au chôc & directement, elle recevroit une impulsion qui seroit exprimée, non pas par $\frac{1}{2} \times IH^2 \times E$, mais par $IH^2 \times E$, produit de son étendue par le quarré du sinus total.

2. Il sera facile de comparer le conoïde que nous venons d'examiner avec le cône inscrit ; & de juger lequel des deux est le plus propre à former une proue qui éprouve moins de résistance. Imaginons-nous que le point B soit le sommet du cône, & DEF sa base. L'angle d'incidence du fluide sur la surface du cône, sera égal à l'angle EBL, ou à la moitié de l'angle BHL, & son sinus sera par conséquent égal à la moitié de la corde BL qu'on doit suppléer dans la figure. Le quarré du sinus d'incidence sera donc $\frac{1}{4} \times BE^2 + \frac{1}{4} \times EL^2$, & l'impulsion directe dans le sens de l'axe

l'axe ſera le produit de cette quantité par E. Or ſi l'on retranche cette impulſion de celle que ſouffre le conoïde même DBFL, il reſtera $\frac{3}{4} \times BE^2 - \frac{3}{4} HE \times EL - \frac{3}{4} \times EL^2$ multiplié par E, pour l'excès de l'impulſion que reçoit le conoïde ſur celle que reçoit le cône ; & il eſt facile de reconnoître que cette quantité eſt réellement un excès, parce qu'elle eſt toujours poſitive. Ainſi le cône inſcrit dans la circonſtance que nous avons marquée, a un avantage réel ſur le conoïde circonſcrit : il fend toujours les fluides avec plus de facilité. Mais il eſt digne de remarque qu'à meſure qu'on fait augmenter BE ou diminuer HE, l'avantage aille en diminuant, & qu'il devienne nul auſſi-tôt que le conoïde eſt une hemiſphere. Alors BE devient IH, pendant que EL devient HL, & que HE s'évanouit ; ce qui anéantit entierement la difference qui ſe trouvoit entre les deux impulſions : l'hémiſphere & le cône inſcrit font alors diminuer par leur ſaillie l'impulſion également de moitié.

Fig. 15.

3. Ce ſera en ſuivant à peu près la même voie, quoique la difficulté ſoit un peu plus grande, qu'on découvrira l'impulſion relative que ſouffre le conoïde dans le ſens vertical. Si on nomme a le ſinus total, ou rayon, IH ; c la diſtance HE, & z la variable HM, on aura $a^2 - z^2$ pour le quarré de KM, ou pour le quarré du ſinus de l'angle d'incidence ſur toute la zone QpK : on aura en même tems $\frac{zdz}{\sqrt{a^2 - z^2}}$, qui eſt la différentielle de KM $\left(= \sqrt{a^2 - z^2}\right)$, pour la valeur de KO, ou de Nn ; & ſi on multiplie cette valeur de KO par NK $= z - c$, & qu'on en prenne le double, il viendra $\frac{2z^2dz - 2czdz}{\sqrt{a^2 - z^2}}$ pour le petit trapeze KQqk. Ce trapeze, qui eſt la projection de la zone QpK, eſt comme *l'expoſant* de l'impulſion relative que ſouffre cette zone ſelon le ſens vertical : c'eſt pourquoi il n'y a donc qu'à le multiplier par le quarré $a^2 - z^2$ du ſinus d'incidence, & on aura $2z^2dz\sqrt{a^2 - z^2} - 2czdz\sqrt{a^2 - z^2}$ pour l'impulſion éle-

Fig. 25. mentaire que souffre la zone ; impulsion qu'il ne reste plus qu'à integrer, pour obtenir celle que reçoit la surface entiere du conoïde.

L'intégrale qu'on trouve par les méthodes ordinaires est $\frac{1}{2} a^2 \int dz \sqrt{a^2 - z^2} + \overline{\frac{1}{3} c - \frac{1}{3} z} \times \overline{a^2 - z^2}^{\frac{3}{2}} - \frac{1}{6} c \times \overline{a^2 - z^2}^{\frac{3}{2}}$ après qu'on l'a rendue complette. Ainsi s'il s'agit du conoïde partial QBKP, & qu'on nomme F l'étendue $\int dz \sqrt{a^2 - z^2}$ du segment BEMK compris entre les sinus BE & KM, & qui a pour largeur EM le rayon de la base du conoïde, on aura pour l'impulsion relative verticale $\frac{1}{2} \times HI^2 \times F + \overline{\frac{1}{3} HE - \frac{1}{3} HM} \times KM^3 - \frac{1}{6} HE \times BE^3$. Cette valeur se réduira à $\frac{1}{2} \times IH \times F - \frac{1}{6} HE \times BE^3$ qui est beaucoup plus simple, lorsqu'il s'agira du conoïde entier DBFL ; parce que KM deviendra nulle, & alors F désignera l'étendue entiere du segment BEL. Supposé d'un autre côté qu'on demande l'impulsion que souffre dans la détermination verticale une zone sphérique formée par la révolution de l'arc IK autour de IS comme axe ; alors HE sera nulle, & BE deviendra IH, la lettre F désignera l'étendue du segment IHMK ; & on aura $\frac{1}{2} \times IH^2 \times F - \frac{1}{3} HM \times KM^3$ pour l'impulsion.

Enfin si la zone ou surface sphérique est formée par la demi-révolution du quart de cercle entier IL, le sinus KM deviendra nul ; ce qui fera évanouir le dernier terme ; & l'impulsion relative verticale sera exprimée par $\frac{1}{2} \times IH^2 \times F$; c'est-à-dire, par la moitié du quarré du sinus total multipliée par l'aire du quart de cercle IHL : au lieu que nous avons vu ci-devant que l'impulsion relative, dans la détermination horisontale parallele à l'axe, est alors égale au produit de la moitié du quarré du sinus total par l'étendue entiere E du demi-cercle. Ainsi on voit qu'une proue sphérique formée par la demi-révolution d'un quart de cercle, éprouve deux fois plus d'impulsion dans le sens horisontal que dans le vertical : & on en conclura, en consultant les Tables Trigonométriques, que la résistance totale ou absolue VZ qu'elle souffre par la rencontre de l'eau, & qui est composée des deux impulsions relatives horisontales

VX, & verticale VY, s'exerce alors ſur une direction VZ qui fait avec l'horiſon un angle ZVX d'environ 26 degrés 34 minutes. Fig. 25.

CHAPITRE VI.

Méthode de trouver l'impulſion que ſouffrent les ſurfaces courbes, en les partageant en pluſieurs parties ſenſiblement planes.

CETTE matiere eſt ſuſceptible d'une infinité de différentes recherches, vu la multitude infinie des ſurfaces courbes qu'on peut expoſer à l'impulſion des fluides. J'ai donné ailleurs des formules générales pour examiner à cet égard tous les conoïdes, non-ſeulement ceux qui ont un cercle pour baſe, ceux auſſi qui ont pour baſe tout autre plan. * Mais, il faut l'avouer ingénument, comme la carene n'a pas ordinairement une figure exacte, ni celle d'un conoïde, ni aucune autre, on eſt obligé preſque toujours de renoncer aux moyens purement géométriques qui attribueroient aux navires une figure qu'ils n'auroient pas. Il faudra donc ſe contenter le plus ſouvent de partager la ſurface de la proue en aſſez de parties pour qu'elles ſoient ſenſiblement planes; & examiner enſuite l'une après l'autre & ſéparément, l'impulſion que recevra chacune. L'opération que je vais indiquer pour cela, me paroît d'un uſage beaucoup plus commode, dans la pratique, que celle que j'ai donnée dans les additions à mon Traité de la Mâture **.

* Voyez le Traité de la Mâture des Vaiſſeaux, Chapitre VIII. de la premiere Section, & les Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, année 1713, pag. 94.

** Je négligeois de relever ici une petite injuſtice commiſe à mon égard ſur ce ſujet; parce que j'étois bien perſuadé de la droiture des intentions de celui dont je pouvois me plaindre. M. Pitot parle dans ſa Théorie de la manœuvre (pages 105 & 106) comme ſi je n'avois pas donné dans mon Traité de la Mâture des Vaiſſeaux cette ſeconde méthode, que je vais encore expliquer actuellement, mais en la rendant plus ſimple. Cependant je l'avois déja réduite à une pratique reguliere & commode: cette méthode, s'il m'eſt permis de le dire, me devoit toute ſa perfection,

I.

Trouver l'impulsion de l'eau dans la route directe sur une proue dont on a le plan.

Nous supposons que toute la surface de la partie antérieure de la carene est divisée par plusieurs plans horisontaux &

comme on le verra en examinant les pages 128 & suivantes de mon Traité ; & il est certain qu'on ne peut pas la remplacer par la maniere particuliere & trop limitée de M. Pitot, de considerer le navire. Il l'a regardé comme un Poligone irrégulier, ou ce qui revient au même, il l'a supposé terminé par un simple trait horisontal : mais cette supposition ne seroit pas admissible, quand même toutes les tranches du vaisseau faites horisontalement seroient des figures semblables ; parce que l'impulsion de l'eau seroit toujours alterée & alterée differemment, par les diverses inclinaisons de la surface de la carene dans le sens vertical.

Je me trouve obligé de faire cette note, voyant qu'un Auteur, dont l'ouvrage vient de paroître, repete en partie ce qu'avoit dit M. Pitot, & ajoute outre cela, de son chef, que la méthode de partager la surface de la proue en parties triangulaires sensiblement planes, n'est ni exacte ni d'un usage assez simple. Pour moi j'avoue que lorsqu'on a poussé la division de chaque moitié de la surface de la proue jusqu'à une vingtaine de parties triangulaires, il me paroît que rien n'empêche de les traiter comme planes, dans les navires de toutes les grandeurs : de même qu'on fait tous les jours avec succès des suppositions semblables dans les besoins de la Géométrie pratique. Que la méthode soit trop longue, je n'en conviens point encore ; car l'Auteur n'a pas droit de me reprocher qu'on s'engage dans un travail de plusieurs jours, toutes les fois qu'on veut faire usage de cette méthode pour huit ou dix routes ; puisque je montrois, comme je le fais encore ici, le moyen de se dispenser de cette peine ; je faisois voir qu'il suffit de chercher l'impulsion pour une ou deux routes, & presque toujours pour une seule. Je ne parlois, en un mot, d'un travail de plusieurs jours auquel il falloit se livrer, que pour mieux faire sentir l'importance de la théorie que j'allois établir dans les Chapitres suivans, qui réduisoit ce long travail à une opération qui ne demandoit que quelques heures d'application. Qu'il me soit permis de représenter encore à l'Auteur, qu'on ne perfectionne point un Art en passant à côté des difficultés, ou en substituant des principes faux à la place des vrais, lorsque ceux-ci paroissent trop difficiles à appliquer. Il y a moyen d'ailleurs de faire toujours ensorte que la peine & le travail ne soient pas pour les Marins : il suffit que des personnes laborieuses & assez intelligentes pour cela achevent à terre tous les calculs, ou toutes ces sortes d'opérations, dont on peut ensuite rédiger les résultats & former des tables pour la commodité des Navigateurs. On se trouve effectivement tous les jours sur mer dans des circonstances pressantes qui ne permettent pas d'avoir recours pour se décider, à des pratiques numériques ou graphiques ; au lieu qu'on a toujours le tems de jetter les yeux sur une table qui fournit ces solutions toutes calculées. Mais il faut, encore une fois, que les personnes qui, comme l'Auteur, nous offrent ces solutions, ne croyent pas que c'est applanir les difficultés, que de négliger quelques unes ou plusieurs des conditions les plus essentielles.

verticaux également éloignés les uns des autres. Les plans verticaux, en coupant cette surface, fournissent la figure des membres, que les Constructeurs sont déja dans la possession de tracer sur le plan même de la maîtresse varangue, sur lequel ils les projettent. Ces coupes sont représentées dans la figure 75 par les lignes courbes ABD, GIB*ig*, KLM*lkm*, &c. qui sont ici rapportées sur le même plan, mais qu'il faut concevoir dans des plans differens & à une égale distance les uns des autres, en avançant vers l'extrémité de la proue. Ces plans partagent toute la surface antérieure de la carene en plusieurs zones, dont la longueur est disposée selon le contour des varangues. Si après cela on imagine plusieurs plans, mais horisontaux, aussi également éloignés les uns des autres, dont les sections avec le maître gabari soient représentées par les droites AD, EP, RS, toute la surface de la proue se trouverá partagée dans des especes de trapezes; mais je crois qu'il sera toujours à propos de pousser la division encore plus loin, pour que les parties de la surface approchent plus d'être planes. On fera passer par la pensée des plans obliques, par l'intersection des plans horisontaux & verticaux; la surface de la proue se trouvera de cette sorte toute partagée en triangles, dont on ne voit dans notre figure que les projections GHK, KHL, HLI, &c.

Fig. 75.

Tout cela étant supposé, & la figure étant achevée avec exactitude, il sera facile de trouver, sans aucun autre secours, la mesure précise de l'angle d'incidence du choc de l'eau sur chaque partie triangulaire, ou même de trouver immédiatement le sinus de cet angle, ou le quarré de ce sinus. Proposons-nous le triangle dont GHK est la projection; nous abaisserons de son sommet K la perpendiculaire KO sur la base GH, qui est sensiblement droite, quoiqu'elle soit une partie de ligne courbe. Je forme ensuite à part un triangle rectangle OKV qui a pour côté KO la longueur de cette perpendiculaire, & pour l'autre côté KV la distance d'un plan vertical à l'autre, ou la distance dont la coupe KM*k* est plus avancée vers l'extrémité de

Fig. 75. la proue que la coupe GBg. Il eſt évident que OV repréſentera la hauteur de la partie triangulaire actuellement choquée, & que l'angle OVK ſera égal à l'angle d'incidence ſous lequel l'eau rencontre cette partie ; puiſque nous ſuppoſons que le choc ſe fait ſelon une parallele à VX ou à l'axe.

Ainſi ſi on prend KV pour ſinus total, il n'y aura qu'à abaiſſer la perpendiculaire KY ſur OV, & cette perpendiculaire ſera le ſinus de l'angle d'incidence; & pour avoir l'expreſſion de ſon quarré, il n'y aura qu'à abaiſſer du point Y la perpendiculaire YZ ſur KV, & prendre le ſegment ou la partie interceptée KZ : car KV ſera à KZ comme le quarré de KV (ſinus total) eſt à celui de KY (ſinus d'incidence). Il ne reſtera donc plus qu'à meſurer le ſegment KZ en parties égales, qui repréſentent des pouces, ou des lignes, & le multiplier par l'étendue du triangle de projection HGK, & on aura l'impulſion relative directe à laquelle ſera expoſée la partie triangulaire dont il s'agit. Si on multiplioit le ſegment KZ par l'étendue même de la partie triangulaire choquée, on auroit l'impulſion abſolue ; mais pour avoir l'impulſion relative directe, il ne faut, comme nous l'avons déja dit tant de fois, multiplier KZ que par le triangle de projection GHK, qui eſt perpendiculaire à cette direction. Au ſurplus il ſera facile d'avoir l'étendue de ce même triangle ; puiſqu'elle eſt la moitié du produit de GH par KO, que la figure fournit toujours, auſſi-tôt qu'elle eſt faite exactement.

Il n'y aura qu'à faire la même choſe pour toutes les autres parties triangulaires, en abaiſſant toujours les perpendiculaires KO, HQ ſur le contour d'une des coupes ; faiſant enſuite une ſomme de toutes les impulſions particulieres qu'on aura trouvées, il viendra l'impulſion relative directe que recevra la proue entiere. On ſçaura de cette ſorte combien la ſaillie, ou la convexité de la proue fait diminuer l'impulſion : car ſi la proue étoit ſans ſaillie & qu'elle fût terminée par un plan exactement vertical

ARBSD, l'impulſion ſeroit repréſentée par l'étendue entiere de ce plan multipliée par KV. Fig. 75.

II.

Trouver l'impulſion de l'eau dans les routes obliques.

1°. Quoique l'opération dans laquelle il faut s'engager pour trouver l'impulſion que ſouffre la proue dans les routes obliques, conſerve toujours beaucoup de la ſimplicité à laquelle nous avons porté la premiere, elle ne peut pas cependant manquer d'être plus longue. Nous avons beſoin pour cela d'un principe qui nous ſervira encore dans pluſieurs autres rencontres. Suppoſons que EF (Fig. 76.) ſoit la direction d'un fluide qui ſe meut horiſontalement & qui vient rencontrer obliquement la baſe CD d'une ſurface plane poſée verticalement. Si on prend l'eſpace EF pour repréſenter le ſinus total ; & que du point E on abaiſſe la perpendiculaire EG ſur la baſe CD, cette perpendiculaire ſera le ſinus de l'angle d'incidence, & ſon quarré repréſentera la force de l'impulſion. Mais ſi on incline la ſurface qui étoit ſituée verticalement, la ligne EG, qui étoit perpendiculaire à la baſe CD, ne ſera plus perpendiculaire à la ſurface ; mais ce ſera une autre ligne EH plus petite que EG, dans le rapport du ſinus de l'angle d'inclinaiſon EGH au ſinus total, ou au ſinus de l'angle droit H. Ainſi l'impulſion, qui étoit repréſentée par le quarré de EG, le ſera déſormais par le quarré de EH, qui eſt maintenant le ſinus de l'angle d'incidence ; & on voit que le ſinus total eſt à ce ſinus d'incidence, en raiſon compoſée de la raiſon du ſinus total au ſinus de l'obliquité EFG de la direction du fluide, par rapport à la baſe CD de la ſurface, & de la raiſon du ſinus total au ſinus de l'inclinaiſon EGH de la même ſurface. Il ſuit donc de là que ſi on change l'obliquité de la baſe de la ſurface, ſans changer l'inclinaiſon, ou que ſi l'on change l'inclinaiſon de la ſurface en laiſſant conſtante l'obliquité de la baſe, l'impulſion ſera Fig. 76.

Fig. 76. comme le seul quarré du sinus de l'obliquité, ou de l'inclinaison changée.

Ce principe étant admis, je suppose qu'on a divisé la surface de la proue en plusieurs petits triangles, comme ci-devant, & qu'on a même déja cherché pour chaque partie la grandeur du sinus de l'angle d'incidence pour la route directe. Ces sinus d'incidence seront découverts pour l'inclinaison de chaque petite surface, & pour l'obliquité de la base par rapport au cours direct de l'eau. L'inclinaison n'est pas sujette à changer puisqu'elle ne dépend que de la nature de la surface; il n'y a que l'obliquité de la base par rapport au cours du fluide, qui devient différente dans les routes obliques. Ainsi les sinus d'incidence doivent changer précisément en même raison que les sinus de ces obliquités; il nous faut donc travailler d'abord à exprimer le rapport que suivent ces derniers sinus.

Fig. 77 & 78. Je forme pour cela un triangle GKV (Fig. 77 & 78.) qui a un côté KV égale à l'intervalle qu'il y a entre les plans verticaux qui divisent la surface de la proue. Son second côté GK est égal à GK de la figure 75, & l'hypothenuse, GV est par conséquent égale au côté horisontal de la partie triangulaire exposée au choc, dont GKH est la projection. Dans la route directe, le fluide se meut parallelement à VK; il suffit donc d'abaisser du point K la perpendiculaire KQ sur GV, pour avoir le sinus de l'obliquité du fluide par rapport à la base GV de la partie choquée de la surface de la proue. Mais dans les routes obliques, le fluide n'a pas une direction parallele à KV. Je tire une ligne VX pour représenter la direction du fluide, laquelle doit faire avec VK un angle égal à celui de la *dérive*, ou à la déviation de la route. Je conduis cette ligne en dehors, comme dans la Figure 77, pour toutes les parties triangulaires qui appartiennent au côté de la proue qui est le plus exposé au choc: au lieu que je la tire en dedans pour l'autre côté, comme dans la Figure 78. Je retranche ensuite VL égale à VK; & abaissant du point L la perpendiculaire LS sur VG, j'aurai dans cette perpendiculaire le sinus

nus de la nouvelle obliquité LVG du fluide par rapport à la base de la partie triangulaire choquée, & par conséquent KQ & LS marqueront le rapport qu'il y a entre les sinus d'incidence qui appartiennent aux deux divers cas. C'est pourquoi je tire par les points L & K la droite LP, jusqu'à la rencontre de VG prolongée; & transportant en QR le sinus d'incidence qui appartient à la route directe & que je prends en KY dans la figure 75, je n'ai plus qu'à tirer la droite PRT & elle me déterminera en ST le sinus d'incidence que je cherchois pour la route proposée.

Toute l'opération se reduit donc, si nous la prenons dès le commencement, à former pour chaque petite partie triangulaire de la surface de la prouë, un triangle rectangle OKV (Fig. 75.) qui ait son côté KV égal à la distance d'un plan vertical à l'autre de ces plans qui ont servi à diviser la surface de la prouë, & pour second côté KO la perpendiculaire qui dans chaque triangle GKH, ou KHL, de projection est abaissée du sommet K ou H sur le côté opposé GH, ou KL, qui est une partie de la ligne courbe qui forme les coupes. Dans le triangle OKV, on abaissera la perpendiculaire KY sur l'hypoténuse; & on aura, comme on le sçait, le sinus d'incidence pour la route directe. On fera ensuite un autre triangle GKV (Fig. 77. & 78.) dans lequel le côté KV sera le même; & KG sera égal à KG de la figure 75. On tirera VX qui doit faire avec KV un angle KVX égal à la dérive. On fera LV égal à KV, & abaissant les deux perpendiculaires KQ & LS sur GV, elles marqueront le rapport qu'il y a entre le sinus d'incidence pour la route directe & pour la route oblique proposée. Enfin on tirera LP, & mettant en QR le sinus d'incidence trouvé ci-devant pour la route directe; la droite PRT terminera donc en T le sinus d'incidence requis TS, pour la route oblique.

Fig. 75. 77. & 78

Je crois qu'il n'est pas nécessaire d'avertir que le sinus d'incidence étant ainsi découvert & mesuré sur une échelle de parties égales, il ne restera plus qu'à en multiplier le quarré par l'étendue de la projection GHK, ou KHL

Fig. 75. 77. & 78.

(Fig. 75.) de chaque partie triangulaire de la ſurface, pour avoir l'impulſion qu'elle reçoit, & qu'ajoutant enſemble toutes les impulſions particulieres, on aura l'impulſion dans le ſens de l'axe ſur toute la proue. Nous ajouterons ſeulement qu'on peut ſe diſpenſer de repeter la même opération pour pluſieurs routes obliques, en ſe contentant de la faire pour une ſeule & pour la route directe; parce que les excès des impulſions dans les routes obliques ſont continuellement proportionnels aux quarrés des ſinus de l'obliquité de la route par rapport à la quille. On démontrera dans le chapitre ſuivant cette proprieté ſinguliere, qu'on peut auſſi déduire des formules du Chapitre IV, & de celles dont nous avons parlé à la tête de celui-ci; proprieté qui, comme on le voit, peut nous épargner un travail très-conſidérable. L'impulſion dans le ſens de l'axe étant trouvée pour la route directe & pour une ſeule route oblique, on n'a que cette ſimple analogie à faire: le quarré du ſinus de la déviation de la route, eſt à l'excès de l'impulſion pour cette route oblique ſur l'impulſion que ſouffre la proue dans la route directe, comme le quarré du ſinus de toute autre déviation ſera à l'excés de l'impulſion qu'elle produira ſur l'impulſion de la route directe.

2°. On trouvera l'impulſion que ſouffre en même tems la proue dans le ſens latéral, ou dans la détermination horiſontale perpendiculaire à l'axe, en multipliant le quarré du ſinus d'incidence par chaque petite partie triangulaire de la ſurface de la proue, projettée ſur le plan vertical qui coupe le vaiſſeau par le milieu ſelon ſa longueur. Il eſt évident que chaque partie triangulaire a pour projection un autre triangle qui a pour baſe la diſtance d'un plan vertical à l'autre, de ces plans qui partagent la ſurface de la proue, & pour hauteur la quantité dont les plans horiſontaux ſont les uns au-deſſus des autres. C'eſt ce qu'on verra en y faiſant un peu d'attention, & en jettant les yeux ſur la figure 75. Tous ces triangles ſont égaux entr'eux: ainſi pour avoir l'impulſion latérale par une ſeu le opéra-

ction, il n'y a qu'à multiplier la somme de tous les quarrés des sinus d'incidence par l'étendue d'un seul triangle. Il suffira encore d'employer cette méthode pour une seule route oblique. Car nous démontrerons que les impulsions latérales totales sont proportionnelles aux rectangles des sinus des obliquités par leurs sinus de complement : d'où il suit que connoissant une de ces impulsions, il est très-facile de découvrir toutes les autres.

Fig. 75. 77. & 78.

3°. Si on veut obtenir l'impulsion relative qui agit dans le sens vertical, il n'y aura qu'à multiplier le quarré de chaque sinus d'incidence par le triangle de projection que donne sur un plan horisontal chaque partie triangulaire de la surface de la proue. Il n'est pas difficile de reconnoître que tous ces triangles de projection ont une égale hauteur; ils ont pour hauteur la distance qu'il y a entre les plans verticaux qui partagent la surface, & pour base les excès des demi-largeurs de la proue mesurées les unes au-dessous des autres dans les mêmes plans verticaux.

4°. Enfin il ne restera plus qu'à déterminer la direction sur laquelle s'exercent les impulsions. Celle que souffre chaque petite partie triangulaire peut être considerée comme réunie dans le centre de gravité du triangle de projection. Ainsi il n'y aura, conformément au grand principe de Statique, qu'à concevoir un plan vertical à côté du navire parallelement à sa longueur, & multiplier chaque petite impulsion directe par la distance des centres de gravité de tous les petits triangles KGH, KHL à ce plan; & divisant la somme des produits par celle des impulsions, on sçaura combien la direction composée, ou commune, est éloignée du plan qu'on a pris pour terme. Il ne sera pas plus difficile de trouver combien cette même direction est enfoncée dans l'eau, en imaginant un plan horisontal auquel on prendra toutes les distances. On appliquera la même méthode aux impulsions latérales, &c.

Ces recherches étant achevées, on connoîtra non-seulement les impulsions que souffre la proue dans le sens direct, ou dans la determination latérale perpendiculaire à

l'axe, on connoîtra encore la situation des lignes qui leur servent de direction; & il sera facile d'en trouver la direction composée. Tirant deux lignes RM & RN (Fig. 67.), l'une parallele à l'axe de la proue & à la distance où l'on aura trouvé que doit être la direction de l'impulsion relative directe, l'autre RN perpendiculaire à l'axe & à la distance PA de l'extrémité de la proue frappée par l'impulsion latérale, il n'y aura qu'à prendre sur ces lignes, depuis leur intersection R, des espaces RM & RN pour représenter les deux impulsions; & achevant le rectangle RMTN, on aura dans sa diagonale RT l'impulsion absolue qui résulte de la composition des deux autres & sa direction. Ce sera selon la même ligne RT, mais en sens contraire, que doit s'exercer l'impulsion du vent sur la voile, conformément à la théorie établie dans le premier Chapitre de cette Section. Quand même il seroit nécessaire d'entreprendre pour plusieurs routes, toutes les operations que nous venons de prescrire, je ne crois pas, vû les connoissances qu'elles procureront, qu'on pût nous objecter leur longueur. Elles seront principalement utiles, lorsqu'on voudra choisir entre différens plans proposés pour le même navire. On distinguera d'une maniere infaillible celui qui par la figure de sa proue fera diminuer le plus la résistance de l'eau; & il suffira presque toujours pour cela, comme on le verra dans un moment, d'examiner l'impulsion à laquelle chaque figure est sujette dans la route directe.



CHAPITRE VII.

Remarques sur les changemens que reçoivent les impulsions que souffrent les surfaces courbes, lorsque le fluide change de direction.

IL nous reste à démontrer diverses choses, que nous venons de laisser sans preuve. Nous allons y suppléer; & nous profiterons de l'occasion pour exposer en même tems plusieurs autres proprietés très-remarquables, ou plutôt très-surprenantes, qu'ont les surfaces courbes par rapport aux impulsions qu'elles reçoivent. Nous en avons déja expliqué ailleurs quelques-unes *: mais nous en découvrirons ici des nouvelles; & la maniere outre cela dont nous exposerons les anciennes, leur donnera peut-être un nouveau degré d'évidence à toutes. Quoique la surface de la proue ait une courbure mécanique, qu'elle soit irreguliere, qu'elle soit même comme formée au hazard, les chocs ausquels elle est sujette changent selon une loi expresse, & leur relation, comme on s'en convaincra, peut toujours s'exprimer d'une maniere générale & géométrique.

* Voyez les additions au traité de la Mâture des vaisseaux, Chapitre V. & suivans.

I.

Soit VG (Fig. 79.) une petite partie droite, ou plane, d'une ligne, ou d'une surface courbe exposée au choc d'un fluide, laquelle est terminée par GK & VK, perpendiculaire & parallele à l'axe de la surface totale. Dans la route directe, ou lorsque la proue se meut parallelement à son axe, ou à KV, on a GVK pour l'angle d'obliquité de la direction du fluide par rapport à la surface, qui peut d'ailleurs être inclinée par rapport à l'horison; mais nous ne faisons point intervenir ici cette considération, parce que nous ne nous proposons pas de découvrir la quantité réelle de l'impulsion, mais seulement le changement qu'elle

Fig. 79.

Fig. 79. souffre dans les routes obliques ; changement, qui, selon ce que nous avons prouvé au commencement du second article du Chapitre précédent, ne dépend que du seul sinus de l'obliquité. Ce sinus dans la route directe est KQ, lorsqu'on prend VK pour sinus total, & que KQ est perpendiculaire à GV. Mais si la route est oblique; si la proue, au lieu de choquer l'eau selon des paralleles KV à l'axe, la va rencontrer selon des paralleles à XV, & que XVK soit donc égal à la déviation de la route, ou à l'angle de la *derive*, on aura l'angle GVX pour l'obliquité actuelle du fluide par rapport à la surface, & LS pour son sinus; & si on fait l'angle KV*x* égal à l'angle KVX, on aura l'angle GV*x* pour l'obliquité du fluide par rapport à l'autre partie de la proue correspondante de GV, & qui est de l'autre côté de l'axe, & *ls* sera le sinus de cette seconde obliquité, supposé que *l*V de même que LV soit égale à KV, & que *ls* & LS soient perpendiculaires à GV. Nous partagerons de cette sorte moins notre attention, & on voit bien que ce sera précisement la même chose que si nous considerions en même tems deux petites parties de la proue également situées de part & d'autre de l'axe. Les deux impulsions que reçoivent ces deux parties se joignent ensemble, puisqu'elles s'exercent précisement dans le même sens : c'est pourquoi il nous reste à trouver la somme des quarrés des sinus LS & *ls*, & à la multiplier par GK.

Du point M, qui est au milieu de la corde L*l* de l'arc de cercle *l*KL, j'abaisse la perpendiculaire MR sur GV; & je remarque que la quantité MO dont elle est plus grande que le sinus *l*S, est égale à la quantité NL dont elle est plus petite que l'autre sinus LS : c'est-à-dire que nous avons RM+NL & RM—NL pour le sinus des obliquités du fluide par rapport aux deux petites parties de la proue; nous aurons donc $\overline{RM}^2 + 2 \times RM \times NL + \overline{NL}^2$, & $\overline{RM}^2 - 2 RN \times NL + \overline{NL}^2$ pour leurs quarrés, & $2 \times \overline{RM}^2 + 2 \times \overline{NL}^2$ pour la somme de ces quarrés. Ainsi il n'y a qu'à

multiplier le double de $\overline{KM}^2 + \overline{NL}^2$ par GK pour avoir l'impulsion relative directe $2 \times \overline{RM}^2 \times GK + 2 \times \overline{NL}^2 \times GK$ que souffrent les deux parties correspondantes GV conjointement, en tant que cette impulsion dépend de l'obliquité de la direction que suit le fluide. Après cela il faut faire attention que quelque changement que reçoive l'angle KVX, qui est l'obliquité de la route ou de la direction du fluide par rapport à l'axe de la proue, la ligne RM conserve toujours le même raport à MV, qui est le sinus de complement de cette obliquité. La premiere est à la seconde continuellement comme GK est à GV ; & NL est aussi toujours proportionnelle à ML, qui est le sinus de cette même obliquité. Or il suit de là que l'impulsion que souffrent, selon la determination relative parallele à l'axe, deux portions correspondantes de la surface de la proue, est formée dans les routes obliques de deux parties, dont l'une est toujours proportionnelle au quarré du sinus complement de l'obliquité de la route, & l'autre proportionnelle au quarré du sinus de cette même obliquité.

Fig. 79

II.

Mais la remarque peut encore être poussée plus loin. Si l'obliquité de la route augmente ou diminue, de maniere que le quarré de son sinus LM augmente ou diminue exactement en progression arithmetique, le quarré de son sinus de complement VM, changera aussi, quoiqu'en sens contraire dans la même progression, puisque les deux quarrés sont toujours une somme constante, ou qu'ils sont égaux ensemble au quarré du sinus total VL. Mais les quarrés de LM & de VM changeant en progression arithmetique, les quarrés de NL & de RM qui ont chacun un rapport constant aux deux autres quarrés, pour chaque partie GV & sa correspondante, changeront dans la même progression, & par conséquent les impulsions directes que souffriront les deux parties correspondantes de la proue,

Fig. 79. changeront auſſi en progreſſion arithmetique. Il eſt vrai que ſi on examine deux autres parties correſpondantes de la proue, l'impulſion qu'elles recevront ne ſuivra pas préciſement la même progreſſion; ce qui viendra non-ſeulement de ce que les rapports de RM à MV & de NL à ML ſeront différens, mais auſſi de ce que ces autres parties auront des inclinaiſons différentes dans le ſens vertical. Mais les impulſions auſquelles elles ſeront ſujettes conjointement, étant priſes deux à deux, changeront cependant toujours en progreſſion arithmetique; car on pourra leur appliquer tout ce que nous avons dit des deux parties GV. Or puiſqu'il eſt certain qu'en ajoutant les termes d'une telle progreſſion avec les termes, je ne dis pas ſimplement de deux ou de trois autres, mais d'une infinité, on retrouve toujours une progreſſion arithmetique, il s'en ſuit que *c'eſt une proprieté commune aux proues de toutes ſortes de figures, que lorſque l'obliquité de la route change, de maniere que le quarré de ſon ſinus croît ou diminue en progreſſion arithmetique, l'impulſion dans les ſens de l'axe, ou de la quille, change auſſi en progreſſion arithmetique.*

III.

Il eſt ſelon cela très-facile de repréſenter par des lignes les impulſions que ſouffrent dans toutes les routes, ſelon le ſens de leur axe, les proues de toutes ſortes de figures. Il n'y a qu'à appliquer ces impulſions aux quarrés des ſinus des obliquité des routes, & comme elles ſeront en progreſſion arithmetique, elles ſeront terminées par une ligne droite. Je prends l'eſpace CA (Fig. 80.) pour repreſenter le ſinus total, & en même tems l'axe de la ſurface courbe qui ſert de proue, laquelle n'eſt pas exprimée dans la figure pour éviter la confuſion. Je trace ſur CA comme diametre un demi-cercle ABC, & les droites CX1, CX2, &c. repréſentant les diverſes directions ſelon leſquelles le fluide rencontre la proue, les droites AL1, AL2, &c. ſeront les ſinus des obliquités des routes, ou

Fig. 80.

des

des divers angles de déviation ou de dérive, & CL1, CL2, &c. les sinus de complement. Il est évident outre cela que les parties AM1, AM2, &c. du diametre, qui sont interceptées entre le point A & les perpendiculaires au diametre qui passent par les points L1, L2, &c. représenteront les quarrés des premiers sinus AL1, AL2; puisque AC étant à AL1, comme AL1 à AM1, le quarré du sinus total AC est au quarré du sinus AL1 comme AC est à AM1. Par la même raison, les parties CM1, CM2 représentent les quarrés des sinus de complement CL1, CL2, &c. Fig. 80.

Cela supposé, il n'y a qu'à porter depuis A jusqu'en O perpendiculairement à CA l'espace AO pour représenter l'impulsion directe que souffre la proue entiere, lorsque l'obliquité de la route est nulle; & tirant la droite CO, on aura en M1P1, en M2P2, &c. les premieres parties de l'impulsion que souffre la proue entiere selon l'axe, dans les routes de toutes les diverses obliquités: on aura les premieres parties qui sont proportionnelles au quarrés CM1, CM2, &c. des sinus complemens des angles de déviation. Les secondes parties P1R1, P2R2 de ces mêmes impulsions, qu'il faut ajouter aux premieres, seront proportionnelles aux quarrés AM1, AM2, &c. des sinus mêmes des obliquités des routes: ainsi elles seront interceptées entre la droite OC & une autre droite OQ: & par conséquent les impulsions entieres seront représentées par les lignes entieres M1R1, M2R2, &c. interceptées entre l'axe AC & la droite OQ. Si le fluide, en venant choquer la proue, suit la direction HC ou des paralleles à cette ligne, l'impulsion selon la détermination directe de l'axe, sera représentée par DS qui passe par l'intersection B de la direction CH & du demi-cercle ABC. Si le fluide suit la direction X2C ou X1C, l'impulsion sera représentée par M2R2 ou M1R1: & enfin si le fluide se meut selon l'axe même AC, l'impulsion sera exprimée par AO; la seconde partie P1R1, qui est proportionnelle au quarré du sinus de l'obliquité de la route, disparoissant dans ce cas.

Ce qu'il y a de particulier en tout ceci, c'est que gé-

Fig. 80. néralement toutes les surfaces courbes, aussi-tot que leurs deux moitiés sont parfaitement égales de part & d'autre de leur axe, ont ainsi une ligne droite OQ pour *limitatrice* de toutes les impulsions qu'elles reçoivent dans le sens de leur axe, lorsque le fluide change de direction : & on reconnoît aisément que ce doit être la même chose à l'égard de l'impulsion relative qui s'exerce de bas en haut dans la détermination verticale. Cet ordre s'observe à l'égard même des surfaces qui ne suivent aucun ordre dans l'arrangement de leurs parties. La surface qui reçoit le choc peut non-seulement être méchanique, dans le sens que l'entendent ordinairement les Géometres, mais ne garder aucune loi dans sa courbure; il semble qu'une pareille surface, quoique ses deux moitiés soient égales, ne doit avoir aucune proprieté soumise aux regles de la géométrie, par la raison qu'elle-même en est affranchie; mais cela n'empêchera pas que les impulsions qu'elle recevra, ne suivent l'ordre que nous venons de marquer. Ainsi on voit qu'il suffit de connoître ces impulsions pour deux cas différens, pour le cas de la route directe & d'une seule route oblique, pour qu'on soit en état de les découvrir pour toutes les autres. On voit aussi que leurs excès sur AO, qui représente l'impulsion pour la route directe, sont continuellement proportionnels aux parties AM 1, AM 2, &c. de l'axe AC, lesquelles représentent les quarrés des sinus des obliquités des routes : ce qui justifie pleinement l'analogie que nous avons prescrite dans le chapitre précédent à la fin du num. 1. article II.

IV.

Il suffit même souvent de connoître l'impulsion relative directe pour le seul cas de la route directe : car si c'est une ligne courbe, dont les deux branches soient égales, qui reçoit le choc, on connoîtra toujours, comme on l'a vu dans le chapitre IV, l'impulsion DS qu'elle recevra, lorsque le fluide la choquera selon les paralleles à HC avec une obliquité de 45 degrés. Pour les autres figures, il est

aussi très-souvent une certaine obliquité, pour laquelle l'impulsion est également connue : elle est connue, parce qu'elle est exactement la même, soit que la surface ait beaucoup de saillie, ou qu'elle en ait peu, ou qu'elle n'en ait point du tout. Nous avons montré, par exemple, dans notre Traité de la Mâture *, que tous les conoïdes qui ont la même base, sans qu'il importe par quelle ligne courbe ils soient formés, ni quelle longueur ait leur axe, éprouvent le même choc direct, lorsque le fluide les frappe avec une obliquité d'environ 54 degrés 44′. C'est encore précisément la même chose lorsque la base, au lieu d'être un cercle, est un triangle rectangle isoscelle : & en général tous les conoïdes qui ont pour base un triangle isoscelle quelconque dont le sommet est en bas, reçoivent la même impulsion selon leur axe, lorsque l'obliquité de la route a pour tangente la sécante de la moitié de l'angle d'en bas de la base ; & cette impulsion est exactement égale à celle que recevroit la base même, si elle étoit choquée avec la même obliquité. Lorsque la base sera en particulier un triangle équilatéral, la sécante de la moitié de l'angle d'en bas, sera $n\sqrt{\frac{4}{3}}$ par rapport au sinus total n ; & prenant $n\sqrt{\frac{4}{3}}$ pour tangente, on trouvera que l'obliquité de la route doit être d'environ 49 degrés $6\frac{1}{2}'$ pour que tous ces conoïdes, quelle que soit d'ailleurs la courbure de leur saillie & la longueur de leur axe, reçoivent précisément la même impulsion les uns que les autres, & une impulsion égale à celle que recevroit leur base si elle étoit exposée au choc. Or il n'en faut pas davantage pour pouvoir conduire la droite OQ, *limitatrice* de toutes les impulsions, pourvu que connoissant déja l'impulsion AO pour la route directe, on sache le point O d'où doit partir OQ.

Fig. 80.

* Voyez page 158.

V.

Mais, puisqu'il est une certaine obliquité de route qui rend l'impulsion dans le sens de l'axe exactement la même dans tout un genre de figures, il s'ensuit qu'il y a un point S par lequel passent toutes les *limitatrices* OQ, *oq*, *ωx* des

Fig. 80. impulſions que reçoit chaque figure particuliere. Le lecteur voit aſſez que nous comprenons ſous un même genre toutes les proues terminées par un ſeul trait horiſontal, quelle que ſoit la nature de la courbe qui forme ce trait. Nous regardons comme un autre genre tous les conoïdes circulaires, ſans qu'il importe par quelle ligne courbe ils ſoient formés. Les conoïdes dont la baſe eſt un triangle déterminé, conſtituent autant de différens genres qu'il y a de différens triangles, ce qui en fournit une infinité. Les proues qui ſont faites ſur le modele de la figure 104, dont nous parlerons dans le premier chapitre de la derniere ſection, forment un genre particulier, mais qui ſe rapporte à celui des proues terminées par un ſimple trait horiſontal; de même que celles qui imitent la figure 108, quelle que ſoit leur baſe ABA. A l'égard de chacun de ces genres, le point S eſt comme un pole; & les lignes OQ, *oq*, &c. ne prennent diverſes ſituations que parce que la premiere impulſion AO, que reçoit chaque proue dans la route directe, eſt plus ou moins grande, ſelon que cette proue a plus ou moins de ſaillie.

Une proue parabolique reçoit une plus grande impulſion Aω; une proue hyperbolique en reçoit une moindre Ao, & une proue formée de deux lignes droites, en reçoit encore une plus petite AO. Mais toutes les droites OQ, *oq*, &c. ſe coupent en S ſur la droite DS qui part du milieu D de AC; parce que toutes ces figures, qui ſont cenſées ici du même genre, ſont ſujettes à la même impulſion, auſſi-tôt qu'elles ont la même largeur & que le fluide les choque en ſuivant une direction HC qui fait avec leur axe un angle de 45 degrés. Ainſi toutes ces proues ſe diviſent en deux claſſes bien différentes. Les unes ont moins de ſaillie, & l'impulſion directe qu'elles reçoivent n'eſt pas d'abord diminuée de moitié; mais elle va en diminuant lorſque l'obliquité de la route augmente. Les autres au contraire ont plus de ſaillie, & l'impulſion directe eſt plus petite que DS; mais cette impulſion va en croiſſant lorſque la route devient plus obli-

que. Il faut remarquer que si au lieu de lignes courbes, il s'agit de surfaces conoïdales qui ont des triangles ou des cercles pour bases, le point S sera plus proche de CQ, puisque ce n'est pas l'obliquité de 45 degrés, mais celle de 49 degrés 6′, ou de 54 degrés 44′, &c. qui fait que toutes ces surfaces reçoivent la même impulsion dans le sens de l'axe.

Fig. 80.

VI.

Il suit de tout cela, que pour certaines surfaces particulieres, la droite OQ, *limitatrice* des impulsions, doit être parallele à AC; ce qui fait la séparation des deux cas dont nous venons de parler, & en constitue un troisieme; alors quelque direction que suive le fluide, l'impulsion directe sera toujours la même: il n'importe que la proue suive une infinité de routes obliques différentes, elle ne sera toujours exposée qu'au même choc selon son axe. C'est ce qui doit arriver à toutes les lignes courbes dont la saillie ou la convexité rend l'impulsion dans la route directe deux fois moindre que si le fluide frappoit la base même: car alors la premiere impulsion AO sera égale à l'impulsion DS que souffre la courbe, lorsque l'obliquité de la route ou de la direction du fluide est de 45 degrés; & il n'en faut pas davantage pour que OQ & AC soient paralleles & que toutes les impulsions M_1R_1, M_2R_2, &c. deviennent égales. Chaque parabole, chaque hyperbole, &c. fournit un arc qui a cette proprieté singuliere: la parabole, par exemple, lorsque son ordonnée de chaque côté est double de l'arc de cercle qui a le demi-parametre pour rayon, & la même ordonnée pour tangente *. C'est ce qui arrive aussi à la proue angulaire formée de deux lignes droites, aussitôt que l'angle qui lui sert de pointe est exactement droit; il n'importe ensuite que le fluide choque cette proue ou selon une direction parallele à son axe, ou selon une ligne oblique quelconque, l'impulsion directe est exactement la même.

* Voyez l'article 3 du chapitre 3 de cette présente section.

Tous les cônes, tous les conoïdes parfaits, lorsqu'ils

Fig. 80. ſont choqués avec une obliquité de 54 degrés 44′, ne reçoivent que le tiers de l'impulſion directe que recevroit leur baſe, ſi elle étoit frappée perpendiculairement. Ainſi toutes les fois que la ſaillie ou la convexité d'une ſurface conoïdale rend dans le choc direct l'impulſion trois fois moindre, cette ſurface doit éprouver préciſément la même impulſion directe dans toutes les routes, ſans que les diverſes obliquités du choc y apportent aucune augmentation ou diminution; car alors AO=DS, & OQ doit être parallele à AC. Toutes les eſpeces de lignes courbes qui forment un conoïde par leur révolution autour de leur axe, nous offrent de ces ſurfaces. On peut en trouver une infinité dans le ſeul conoïde formé par la révolution d'un arc de cercle, dont nous avons parlé dans l'art. II du chap. V. & tel eſt auſſi, par exemple, le cône dont l'angle total au ſommet, eſt d'environ 70 degrés 32′, ou dont le diametre de la baſe eſt à la hauteur, comme la diagonale du quarré eſt à ſon côté, ou comme 141 eſt à environ 100. Ce cône reçoit toujours la même impulſion dans le ſens de ſon axe, quelle que ſoit la direction du fluide qui le frappe.

VII.

Une autre conſéquence auſſi curieuſe & incomparablement plus importante, qu'on peut tirer du paſſage continuel par le même pole S de toutes les *limitatrices* OQ, *oq*, &c. des impulſions que ſouffrent les figures de même genre: c'eſt que plus la premiere impulſion AO ſera petite, plus les autres impulſions M1R1, M2R2, &c. que recevra la même figure dans les autres routes, le ſeront auſſi: & ſi l'impulſion AO eſt un *minimum*, les autres impulſions M1R1, M2R2 le ſeront également. Il ſuffit par conſéquent que la courbe, ou que la ſurface qui eſt expoſée au choc du fluide, reçoive la moindre impulſion dans la route directe, pour qu'elle reçoive auſſi la moindre impulſion dans les routes obliques. Cependant cet avantage doit ſe perdre à la fin; il ſe perd lorſque l'obliquité eſt aſſez grande pour que

l'impulſion ſoit repréſentée par DS, puiſqu'alors toutes les figures de même genre reçoivent préciſément la même impulſion, ſans qu'il y ait de diſtinction entr'elles. Fig. 50.

Une particularité qui eſt encore très-digne de remarque, c'eſt que ſi la route devient encore plus oblique, l'impulſion qui étoit auparavant un *minimum* deviendra un *maximum*: car plus AO eſt petite, plus les lignes comme M_3R_3 au-delà du pole S, doivent être grandes. Ainſi l'avantage dont jouiſſoit la courbe ou la ſurface conoïdale pendant que l'obliquité de la route étoit moindre que 45 degrés, ou que 49 degrés $6\frac{1}{2}'$, ou 54 degrés 44', ſe change ou ſe pervertit enſuite en déſavantage; la ſurface reçoit plus d'impulſion dans le ſens de ſon axe, que toutes autres courbes ou ſurfaces imaginables, & devient la moins propre de toutes pour former la partie antérieure de la carene. Si au contraire l'impulſion dans la route directe, étoit un *plus grand*, elle ſe changeroit en un *minimum* par la même raiſon dans les routes très-obliques. Suppoſé donc qu'une ſurface fût deſtinée à n'être choquée que très-obliquement par un fluide, & qu'on voulût qu'elle ne reçût que la moindre impulſion poſſible ſelon la détermination de ſon axe, il faudroit néceſſairement rendre plane cette ſurface.

Au ſurplus, ce ſont non-ſeulement les impulſions que ſouffre la ſurface entiere de la proue, qui étant des *minimum* juſqu'à un certain terme, paſſent enſuite du moindre au plus grand; ce ſont auſſi les impulſions ſur chaque moitié. Nous ferions voir aſſez aiſément, s'il en étoit beſoin, que ces impulſions particulieres ſur chaque moitié d'une proue quelconque, ont pour *limitatrices*, non pas des lignes droites, mais des arc d'ellipſes, dont il n'eſt queſtion par conſéquent, pour déterminer l'obliquité qui fait la ſéparation du *minimum* & du *maximum*, que de découvrir les points d'interſection. Mais enfin *toute ſurface qui éprouve la moindre impulſion, lorſqu'elle eſt choquée ſelon une certaine ligne, jouit encore de la même proprieté, quoique le choc ſe faſſe ſelon une direction très-differente*; de ſorte que le *minimum* étend toujours ſon regne fort loin, & il en eſt de même du *maximum*.

Fig. 80. Ainsi, sans se mettre en peine des autres cas, ni sans entrer dans la longue discussion qu'exige l'examen particulier des routes obliques, il suffira toujours, lorsqu'on voudra donner une figure plus parfaite à la proue, de chercher celle qui éprouve la moindre résistance dans la seule route directe. Il est certain que l'obliquité des routes ne va jamais jusqu'à 45 degrés, ou jusqu'à 54 degrés 44', pour faire perdre l'avantage qu'avoit la figure, & encore moins pour le faire changer en désavantage. J'avois déja prouvé cette vérité *à posteriori* dans un Mémoire communiqué à l'Académie des Sciences en 1733. Lorsqu'une surface plane exactement circulaire est exposée perpendiculairement au choc d'un fluide, on connoissoit depuis long-tems la nature du conoïde dont il falloit la couvrir pour que l'impulsion fût la moindre qu'il est possible : mais cette solution étoit limitée aux seuls conoïdes parfaits, & il y avoit outre cela lieu de croire qu'elle ne devoit pas être la même lorsque la direction du fluide étoit oblique. Pour éclaircir ce doute, qui avoit entraîné des Géometres fameux, j'attribuai non-seulement à la base une figure quelconque, je supposai que le cours du fluide se faisoit obliquement ; & je fus récompensé de mes recherches, en apprenant que si le conoïde *de moindre résistance* est différent pour les différentes bases, il est absolument le même pour les routes obliques que pour celle qui se fait selon l'axe. Maintenant que nous avons démontré la même chose d'une maniere directe, nous sommes encore plus en droit de nous épargner la plus grande partie de la difficulté qu'on trouve dans l'examen des diverses figures : nous n'avons à discuter leurs proprietés que pour le seul cas de la route directe.



CHAPITRE

CHAPITRE VIII.

Suite du Chapitre précédent, dans laquelle on examine les changemens particuliers que souffre l'impulsion latérale, lorsque le fluide change de direction.

I.

IL n'a point été question jusqu'à présent do l'impulsion latérale, ou de l'impulsion qui se fait dans la détermination horisontale perpendiculaire à l'axe. Nous allons nous en occuper actuellement, & tâcher de découvrir d'abord la loi qu'elle suit dans ses changemens. Nous avons vu que VX (Fig. 79.) étant la direction du fluide dont l'obliquité, par rapport à l'axe de la proue ou à la quille, est marquée par l'angle KVX, le quarré du sinus de l'obliquité de la direction du fluide par rapport à la petite partie VG de la surface de la proue, est $\overline{RM}^2 + 2RM \times NL + \overline{NL}^2$; pendant que le quarré du sinus de l'obliquité par rapport à la partie correspondante de VG de l'autre côté de la proue, est $\overline{RM}^2 - 2RM \times NL + \overline{NL}^2$. Nous pouvons toujours nous borner à ne considerer que ces seuls quarrés; puis qu'en les multipliant par le quarré du sinus de l'inclinaison de chaque partie & par l'étendue de la projection sur VK, ou sur un plan vertical parallele à la quille, cette multiplication n'influeroit en rien sur le rapport qu'ils suivent dans leur changement, lorsque l'obliquité de la route augmente ou diminue.

Fig. 79.

J'ôte le second quarré du premier, parce que les impulsions latérales que souffrent les deux moitiés de la proue étant contraires, la plus foible détruit une partie de la plus forte, & il me reste $4RM \times NL$, qui doit donc être continuellement proportionnel à l'impulsion latérale que souf-

Fff

Fig. 79. frent toutes les parties de la proue considerées deux à deux. L'impulsion latérale que souffre la proue entiere, change par conséquent dans le même rapport ; c'est-à-dire qu'elle change comme le rectangle du sinus de l'obliquité de la route par son sinus de complement ; puisque NL a toujours, nous le répetons, un rapport constant dans chaque petite partie de la surface de la proue avec le sinus ML de l'obliquité de la route, & RM avec le sinus de complement VM de la même obliquité. Le sinus ML est nul, & NL l'est aussi dans la route directe ; ce qui rend nul aussi-bien le rectangle VM × ML, que le rectangle 4RM × NL ; & l'impulsion latérale est aussi nulle : mais à mesure que l'obliquité de la route augmente, l'un & l'autre rectangle devient plus grand & dans le même rapport, jusqu'à ce que l'obliquité soit de 45 degrés. Alors ils sont parvenus l'un & l'autre au terme de leur *maximum*, comme il est facile de le démontrer : après cela ils diminuent. L'impulsion latérale qui suit le même rapport doit donc augmenter jusqu'au même terme, & diminuer ensuite par les mêmes degrés qu'elle avoit augmenté ; & cela doit arriver généralement dans les proues de toutes sortes de figures, aussi-tôt que le choc se fait toujours sur la même surface.

II.

Cette loi qu'observe l'impulsion latérale, lorsqu'elle change par l'obliquité de la route, étant reconnue, il est facile d'en conclure que la direction de l'impulsion totale ou absolue que souffre toute la proue, passe continuellement par le même point de l'axe de la carene ; & c'est ce qu'il est peut-être aussi important de savoir, que la loi même que suit l'impulsion latérale. Si on considere deux à deux les parties correspondantes E*e*, E*e* (Fig. 74.) de la surface de la proue, on sait que les impulsions absolues ausquelles elles sont sujettes, s'exercent sur deux perpendiculaires à la surface, qui viennent se rencontrer dans le même point M de l'axe AC. On peut décomposer ces im-

pulſions dans ce point; & les réſoudre en impulſions relatives directes, & en impulſions relatives latérales. Toutes les impulſions relatives directes, en conſéquence de cette décompoſition, ſe réuniront dans l'axe même AC qui leur ſervira de direction commune, & les impulſions latérales, celles d'un côté l'emportant ſur celles de l'autre, ſe trouveront appliquées tout le long de l'axe ſur une infinité de perpendiculaires MN. Mais qu'on y faſſe maintenant attention, le changement d'obliquité de la route, ou le changement des directions du fluide ne fera point changer les points M de place; & en ſecond lieu, ſi les impulſions latérales qui s'exercent ſur les lignes MN augmentent ou diminuent, elles le feront toutes proportionnellement, puiſqu'elles changent toutes en même-tems comme le rectangle du ſinus de l'obliquité de la route par ſon ſinus de complement. Fig. 74.

Ainſi ſi on réunit, ou ſi on compoſe toutes ces impulſions relatives pour avoir l'impulſion latérale totale, cette derniere impulſion, quoique le navire embraſſe des routes plus ou moins obliques, ne pourra pas manquer de s'exercer toujours ſur la même direction; c'eſt-à-dire, ſur une ligne appliquée conſtamment au même point de l'axe. Car que pluſieurs puiſſances augmentent ou diminuent, auſſi-tôt qu'elles le font toutes proportionnellement, & qu'elles s'exercent toujours ſur les mêmes directions particulieres, leur direction compoſée ou mutuelle ne doit pas changer. Or il ſuit de-là que lorſqu'on compoſera en dernier lieu l'impulſion latérale totale, avec l'impulſion directe totale, pour avoir l'impulſion abſolue, ou l'impulſion formée de toutes les autres impulſions, on trouvera une direction qui paſſera encore par le même point; puiſqu'elle partira de l'interſection de l'axe & de la direction de l'impulſion latérale. J'avois déja prouvé dans le traité de la mâture des vaiſſeaux, cette proprieté qu'ont les proues de toutes les figures, mais la démonſtration que j'en avois donnée étoit non-ſeulement plus longue, elle étoit encore plus dépendante du calcul.

III.

Fig. 79. Pour comparer maintenant les impulſions latérales aux impulſions directes, nous n'avons qu'à nous reſſouvenir que ces dernieres ſont exprimées dans la figure 79 par $2 \times \overline{RM}^2 \times GK + 2 \times \overline{NL}^2 \times GK$, & que ſi on multiplie le rectangle $4 \times RM \times NL$, ou la difference des deux quarrés de SL & de sl par KV, qui eſt la projection de la partie GV ſur le plan perpendiculaire à la direction de l'impulſion latérale, on aura $4 \times RM \times NL \times KV$ pour cette impulſion. Il ſeroit inutile, comme nous l'avons déja dit tant de fois, de conſiderer l'inclinaiſon des deux parties correſpondantes expoſées au choc, leſquelles ne ſont pas verticales; puiſqu'en multipliant également les deux quantités $2 \times \overline{RM}^2 \times GK + 2 \times \overline{NL}^2 \times GK$, & $4 \times RM \times NL \times KV$ par le quarré du ſinus de l'inclinaiſon, on n'en changeroit pas le rapport. Or ſi on compare le ſecond terme de la premiere quantité avec la ſeconde, on verra que ces deux grandeurs ſont comme $NL \times GK$ eſt à $2 \times RM \times KV$: c'eſt-à-dire que $NL \times GK$ & $2 \times RM \times KV$, expriment le rapport qu'il y a entre la partie de l'impulſion relative directe qui change comme le quarré du ſinus de l'obliquité de la route & l'impulſion latérale. Mais le rapport demeurera le même ſi on multiplie les deux termes par GV; on aura $GV \times NL \times GK$, & $2 \times GV \times RM \times KV$; & il ne changera point encore ſi on les diviſe par $GK \times KV$; ce qui donnera $\frac{GV \times NL}{KV}$ & $\frac{2 \times GV \times RM}{GK}$. Ainſi la ſeconde partie de l'impulſion directe qui change comme le quarré du ſinus de l'obliquité de la route, eſt à l'impulſion latérale, comme $\frac{GV \times NL}{KV}$ eſt à $\frac{2 \times GV \times RM}{GK}$; & enfin ſi on met à la place de ces deux dernieres quantités, les lignes ML & 2MV qui leur ſont égales, on reconnoîtra que la ſeconde partie de l'impulſion directe eſt à l'impulſion latérale, comme le ſinus ML de l'obliquitié de la route eſt au double du ſinus

de complement MV, ou comme la tangente KX de cette même obliquité eſt au double du ſinus total KV. Fig. 79.

La ſeconde partie de l'impulſion directe dont il s'agit ici, eſt repréſentée par les eſpaces P1 R1, P2 R2, &c. dans la figure 80 : de ſorte qu'il eſt toujours très-facile de ſoumettre au calcul l'impulſion latérale, & de la déduire de l'impulſion directe. Cette derniere étant connue pour une certaine route ; qu'on la connoiſſe, par exemple, pour la route dont l'angle ACX2 marque l'obliquité, il n'y aura qu'à en retrancher la premiere partie M2 P2, qu'on trouvera par cette analogie ; CA eſt à CM2, ou le quarré du ſinus total eſt au quarré du ſinus complement de l'obliquité de la route propoſée, comme l'impulſion AO que ſouffre la proue dans la route directe eſt à M2 P2. Cette quantité M2 P2 étant ôtée de M2 R2, on aura la ſeconde partie P2 R2 ; & il ne reſtera plus qu'à faire cette autre analogie : Le ſinus de l'obliquité de la route propoſée eſt au double du ſinus de complement de cette même obliquité, comme P2 R2 ſera à l'impulſion latérale qu'on demandoit. Lorſque l'obliquité de la route ſera de 45 degrés, le ſinus de cette obliquité & le ſinus de ſon complement ſeront égaux. Ainſi l'impulſion latérale ſera double de TS, ou égale à CQ; ce qui nous apprend cette vérité remarquable, que pendant qu'une des extrémités O de la *limitatrice* OQ des impulſions directes eſt éloignée de l'axe AC de la quantité AO, qui exprime la premiere impulſion directe, l'autre extrémité Q en eſt éloignée de la diſtance CQ, qui exprime la plus grande impulſion latérale. On voit donc auſſi que lorſque les impulſions directes, AO, M1 R1, M2 R2, &c. que reçoit la proue dans toutes les routes, ſont égales entr'elles ; elles ſont auſſi égales à la plus grande impulſion latérale que ſouffre la proue dans la route oblique de 45 degrés. Fig. 80.

IV.

Si on veut réſumer & ſe mettre ſous les yeux la plûpart des choſes que nous venons d'établir, on n'aura qu'à pren-

dre n pour sinus total, s pour le sinus de l'obliquité de la route, & σ pour le sinus de complement; nommant A la valeur de AO, ou de l'impulsion selon l'axe que souffre la proue dans la route directe, & B la valeur de CQ, ou de l'impulsion latérale que souffre la proue dans la route oblique de 45 degrés, on aura $\frac{\sigma^2}{n^2}$ A pour la premiere partie $M_1 R_1$, ou $M_2 R_2$ de l'impulsion directe, pour celle qui est proportionnelle au quarré du sinus de complement σ de l'obliquité de la route, & $\frac{s^2}{n^2}$ B pour la seconde partie $P_1 R_1$, ou $P_2 R_2$ qui est proportionnelle au quarré du sinus s. L'impulsion directe entiere $M_1 R_1$, ou $M_2 R_2$ sera par conséquent représentée par $\frac{\sigma^2}{n^2} A + \frac{s^2}{n^2} B$; & si on fait l'analogie prescrite ci-dessus $s \mid 2\sigma \parallel \frac{s^2}{n^2} B \mid \frac{2s\sigma}{n^2}$ B, on aura $\frac{2s\sigma}{n^2}$ B pour l'impulsion latérale. Ainsi les deux impulsions rélatives, selon le sens de l'axe & selon le sens perpendiculaire à l'axe, seront exprimées d'une maniere très-simple : la premiere le sera toujours par $\frac{\sigma^2}{n^2} A + \frac{s^2}{n^2} B$; & la seconde par $\frac{2s\sigma}{n^2}$ B; & cela pour les proues de toutes les figures & pour toutes les routes.

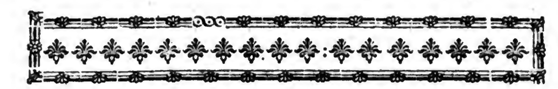
V.

Enfin nous terminerons ces remarques par une derniere observation, qui n'est pas moins considérable que les précédentes, & qui en est un corollaire. Il est évident que puisque l'impulsion latérale pour chaque route a un rapport déterminé avec la seconde partie $P_1 R_1$ ou $P_2 R_2$ de l'impulsion directe; plus cette seconde partie sera grande, plus l'impulsion latérale le sera aussi. Or la seconde partie de l'impulsion directe n'est jamais plus grande que lorsque la premiere l'est moins; ou que lorsque l'impulsion directe AO, pour le cas où l'obliquité de la route est nulle, est un *minimum*. Car AO étant un *moindre*, CQ, qui est égale

à la plus grande impulsion latérale, est un *plus grand*; & toutes les secondes parties P1 R1, P2 R2 de l'impulsion directe, ou ce qui revient au même, toutes les impulsions latérales, doivent se ressentir de la grandeur CQ. Fig. 84.

Il se trouve par conséquent un double avantage à donner à la proue la figure qui éprouve la moindre résistance de la part du milieu dans lequel elle se meut. Car cette propriété entraîne nécessairement l'autre, que l'impulsion latérale est la plus grande qu'il se peut. Ainsi le navire singlant plus vite, dérivera le moins qu'il se pourra, non-seulement à cause de la petitesse de la résistance directe; mais parce que la résistance latérale réellement plus grande, s'opposera davantage, & le plus qu'il sera possible, à l'effort du vent qui pousse le navire de côté, & qui est la cause de sa déviation dans les routes obliques. C'est donc encore une proprieté dont jouissoit, sans que nous le sçussions, la proue qui éprouve la moindre résistance dans la route directe : elle éprouve non-seulement la moindre résistance dans toutes les autres routes; *elle est aussi la proue de la moindre déviation ou de la moindre dérive* : & on conviendra sans peine que cette proprieté est beaucoup plus importante que l'autre. Il arrive tous les jours que des navires qui navigent proche de terre, ne se perdent faute de doubler un cap, ou de s'élever d'une côte où ils sont abatus, que parce qu'ils sont sujets à une trop grande dérive : au lieu que la lenteur de leur marche ne fut jamais la cause prochaine ou immédiate de leur naufrage.





SECONDE SECTION.

Où l'on tente la ſolution générale des principaux Problêmes de manœuvre.

NOUS nous trouvons naturellement conduits par toutes les recherches précédentes à la partie même intérieure de la manœuvre des vaiſſeaux, que nous pourrions nous diſpenſer d'examiner; mais dont nous allons réſoudre les principaux problêmes, afin de ſaiſir l'occaſion qui ſe préſente d'éclaircir en peu de mots cette partie ſi difficile de la marine. On eſt tenté de croire en liſant l'eſſai de manœuvre du célébre M. Bernoulli, & en voyant tous les embarras dont ce ſujet épineux eſt environné, qu'il n'eſt pas poſſible de trouver de regles générales ou univerſelles qu'on puiſſe appliquer indiſtinctement à tous les navires; & qu'il faut pour chacun ſe réſoudre toujours à commencer un nouvel examen, & à diſcuter dans le plus grand détail la figure particuliere de ſa carene. Le Géometre rebuté d'un travail qui n'a pas de fin, ne peut pas s'empêcher de regreter après cela la ſimplicité des regles de M. le Chevalier Renau; & peu s'en faut qu'il ne les préfere, quoiqu'il ſoit convaincu de leur imperfection qui n'eſt que trop bien prouvée. Mais ce ne ſera plus la même choſe, auſſi-tôt qu'on partira des remarques que nous venons de faire: elles nous mettront non-ſeulement en état de vaincre tous les obſtacles qui ſe ſont préſentés juſqu'à préſent, lorſqu'on a cherché des ſolutions générales des problêmes dont il s'agit; nous ne ſerons point obligés de négliger la conſidération des différentes vîteſſes relatives du vent qui changent par le mouvement du navire, & qui ne font pas moins

moins naître de singularités curieuses dans cette matiere, qu'elles contribuent à la rendre plus difficile.

CHAPITRE PREMIER.

De la vîtesse que prend le vaisseau par rapport à celle du vent.

NOUS commencerons par la discussion de cette premiere question, dont le Pilotage, la Manœuvre, & l'Architecture navale peuvent tirer de grandes utilités, & dont personne cependant ne cherchoit la solution. On supposoit tous les jours que la vîtesse que recevoit le navire étoit comme infiniment petite, ou au moins comme insensible par rapport à celle du vent; & bien loin de distinguer les cas qui exigent plus d'exactitude, on partoit continuellement de cette supposition gratuite, sans savoir s'il est une seule occasion où elle puisse être admise légitimement. M. d'Ons-en-Bray est le premier, à ce que je crois, qui méditant la machine dont nous avons parlé dans le second chapitre de l'autre section, a senti que la chose méritoit d'être mise en déliberation, & qui en a fait un sujet de question. Elle me fut proposée en 1729, lorsque j'étois au Croisic, par feu M. de Valincourt, Secretaire Général de la Marine. Comme l'écrit qui me fut remis ne contenoit pas une proposition formelle du problême, on pouvoit aisément se méprendre sur l'intention secrette de l'Auteur. M. d'Ons-en-Bray vouloit, à ce qu'il me parut, se réserver le plaisir de résoudre lui-même la question; il se contentoit de demander des expériences, qui ne pouvoient se faire que sur le bord de la mer, lesquelles devoient lui servir de principes ou d'élemens. Je fis ces expériences, & je ne pouvois pas y manquer: mais je tentai en même tems une solution directe du problême, en employant en partie les regles exposées dans la section précédente. C'est

de cette ſeule ſolution, parce qu'elle eſt toute de moi; mais qu'il n'y avoit pas ſans doute beaucoup de mérite à imaginer, dont je vais ici rendre compte.

I.

Je conſiderai un vaiſſeau de 163 pieds de longueur de l'étrave à l'étambot, & de 44 pieds 9 pouces de largeur en dehors de ſes membres; & je trouvai l'étendue de la coupe verticale de ſa carene faite perpendiculairement à ſa quille, d'environ 691 pieds quarrés. C'eſt cette coupe qui recevroit le choc de l'eau pendant le ſillage ſi la proue n'avoit aucune ſaillie, & ſi elle étoit terminée par un plan vertical: au lieu que la figure convexe eſt cauſe qu'on ne doit pas regarder ces 691 pieds comme ſujets à l'impulſion de l'eau. Il eſt donc d'abord queſtion de découvrir la réduction qu'il faut faire à cette ſurface, & c'eſt en cela que conſiſte la plus grande difficulté du problême. Si la proue des vaiſſeaux avoit la figure qui éprouve la moindre réſiſtance, avec le même axe & la même groſſeur qu'elle a ordinairement, ſa ſaillie rendroit alors l'impulſion environ douze fois moindre, comme on peut le verifier aiſément. Nous avons vu dans le chapitre V. de la ſection précédente, qu'un cone dont l'axe eſt triple du rayon de ſa baſe, reçoit déja une impulſion dix fois plus petite que ſi l'eau frappoit perpendiculairement ſa baſe même; & il faut remarquer que le conoïde de moindre réſiſtance qui a les mêmes dimenſions, reçoit une impulſion encore moindre d'environ une cinquiéme partie. Mais il s'en faut beaucoup que nos Conſtructeurs ayent atteint cette figure dont ils ſont reſtés extrêmement éloignés. En examinant un petit navire du Croiſic nommé *le S. Pierre* *, je trouvai que la convexité de ſa proue ne rendoit le choc de l'eau qu'environ ſix fois & demi plus petit que ſi la proue eût été formée par un plan vertical. Ce plan meſuré avec ſoin étoit de 6687 pouces quarrés, & l'impulſion qu'il eût reçu eût été exprimée par 66870000, au lieu qu'en partageant la ſurface de la proue en 18 triangles qui ſe trou-

* Voyez le Traité de la Mâture, page 137 & ſuiv.

voient sensiblement de petites surfaces planes, & en cherchant les impulsions particulieres que souffrent toutes ces surfaces, l'implusion totale étoit représentée par 10245735 qui est à très-peu près 6 $\frac{1}{7}$ fois moindre que 66870000. Je pensois que dans les vaisseaux de guerre, il se faisoit encore une plus grande diminution, & qu'il falloit réduire à une neuvieme partie ou à 77 pieds les 691 pieds quarrés de la coupe verticale de la carene faite perpendiculairement à la quille du vaisseau du premier rang dont il s'agit. Mais ayant eu occasion depuis de visiter nos ports & de reconnoître par moi-même la forme des plus grands navires, j'ai été forcé de reconnoître que l'impulsion qu'ils souffroient n'étoit qu'environ quatre fois, ou tout au plus quatre fois & demie plus petite que si leur proue eût été terminée par un plan vertical. Cette extrême différence qui est quelquefois encore plus grande entre la figure actuelle des plus grands navires, & celle du conoïde qui éprouve la moindre résistance, vient de ce que la grosseur du conoïde commence à diminuer dès son origine, ou en partant de la premiere coupe qui lui sert de base; au lieu que celle qu'on donne actuellement aux vaisseaux, se conserve dans un très-grand espace, & diminue ensuite tout-à-coup; ce qui produit le même effet que si la proue étoit beaucoup plus courte, ou avoit moins de saillie. Enfin l'étendue de la coupe verticale de la carene faite perpendiculairement à la quille étant de 691 pieds quarrés, on ne doit, je pense, la réduire généralement à cause de la convexité & de la saillie de la proue, vu l'état actuel des choses, qu'à environ 150 pieds, que nous prendrons donc pour *l'exposant* ou pour *l'argument* de l'impulsion relative directe.

II.

Il faut maintenant considerer l'effort du vent sur les voiles. La surface des trois du grand mât devoit être d'environ 10316 pieds quarrés: & comme on peut, en présentant un peu le flanc au vent, faire ensorte qu'une grande partie des voiles du mât de misaine ait part à l'impulsion,

ſans qu'il y ait de diminution conſidérable par le changement de l'angle d'incidence, ni que la réſiſtance que ſouffre la proue de la part de l'eau, devienne auſſi plus grande par l'obliquité de la route, on doit augmenter d'environ de moitié les 10316 pieds quarrés, & on aura 15474 pieds pour la ſurface totale des voiles qui *portent*, ou qui reçoivent le choc du vent. Or l'impulſion que ſouffrent ces 15474 pieds doit être égale, comme on l'a vu dans le premier chapitre de l'autre ſection, à l'impulſion de l'eau ſur les 150 pieds quarrés de ſurface, auſquels ſe réduit la proue. D'ailleurs ces impulſions dépendent des denſités des deux fluides : car ſi toutes les autres choſes étant égales, un fluide eſt deux ou trois fois plus denſe, ou d'une peſanteur ſpécifique deux ou trois fois plus grande, ſon choc ſera deux ou trois fois plus fort. Le mercure avec la même vîteſſe fait, par exemple, 14 fois plus d'impulſion que l'eau ſur la même ſurface ; parce qu'il eſt 14 fois plus peſant : & l'eau par la même raiſon fait 576 fois plus d'impreſſion que le vent, lorſque l'air eſt dans ce degré précis de condenſation où l'a obſervé M. Mariotte, qui le rend 576 fois moins peſant que l'eau. On ſait enfin que les impulſions ſuivent la raiſon doublée des vîteſſes, ou ſont proportionnelles à leurs quarrés. Tout cela étant admis, ſi nous déſignons la vîteſſe du navire par 100, nous aurons pour l'expreſſion du choc de l'eau ſur la proue 864000000, qui eſt le produit de 150 pieds quarrés par la denſité de l'eau 576, & par le quarre 10000 de la vîteſſe du ſillage. Or cette impulſion encore une fois doit être égale à celle du vent ſur les voiles, ou au produit de leur étendue 15474 pieds quarrés par la denſité 1 de l'air, & par le quarré de la vîteſſe reſpective du vent. Ainſi ſi on diviſe l'impulſion 864000000 de l'eau par l'étendue 15474 des voiles, & par la denſité 1 de l'air, il viendra au quotient le quarré de la vîteſſe du vent. On trouve 55835 pour ce quarré, dont la racine eſt environ 236, & il ne reſte plus qu'à conſiderer que comme ce nombre ne repréſente que la vîteſſe reſpective, ou que la vîteſſe avec

laquelle les voiles sont frappées, on doit l'augmenter de toute la vîtesse particuliere du vaisseau. Il viendra donc 336 pour la vîtesse totale ou absolue du vent : ce qui nous apprend que cette vîtesse & celle du sillage sont sensiblement comme 336 est à 100, ou que l'une n'est pas tout-à-fait le tiers de l'autre.

Il faut remarquer que si au lieu de supposer que l'eau est 576 fois plus pesante que l'air, on la suppose 1100 fois, on trouveroit que la vîtesse du navire est à celle du vent, non pas comme 100 est à 336, mais comme 100 est à 419. Nous déférerons un peu à l'une & à l'autre de ces déterminations, parce que 576 & 1100 comparés à l'unité, sont à peu près comme les limites du rapport qu'il y a entre la densité de l'eau & celle de l'air. Mais il résulte de tout cela que les vaisseaux les mieux construits prennent environ les deux septiemes de la vîtesse du vent. Lorsque le vent devient deux ou trois fois plus rapide, son impulsion est quatre ou neuf fois plus forte; mais le navire singlant deux ou trois fois plus vîte, la résistance de l'eau contre la proue devient aussi quatre fois ou neuf fois plus grande, ce qui maintient l'équilibre.

III.

Ce qu'on vient de dire ne convient qu'aux vaisseaux qui singlent le mieux, & qui approchent de la figure des frégates : car s'il s'agissoit de flûtes Hollandoises, ou des autres bâtimens qui sont faits exprès pour porter une grande charge, la convexité de leur proue ne seroit quelquefois gueres plus grande que celle d'une hémisphere *, elle ne rendroit l'impulsion que deux fois ou deux fois & demie plus petite que si la proue étoit terminée par un plan vertical. On peut chercher par le même procédé leur vîtesse par rapport à celle du vent, & on verra qu'au lieu d'en être les deux septiemes, comme dans les vaisseaux qui singlent le mieux, elle n'en est qu'environ la cinquieme partie. C'est par conséquent entre ces deux li-

* Voyez le chap. V. de la section précédente, art. 2, à la fin du n. 1.

mites, qui sont l'une à l'autre dans le rapport de 7 à 10; que se trouve la vîtesse de la plûpart de nos vaisseaux, lorsqu'ils vont vent en poupe, ou *vent largue.* Nous avons besoin de mettre cette restriction, car s'ils alloient à *la bouline*, ou *au plus près*, en présentant leur proue vers le vent, & en dérivant de 20 ou 25 degrés, le rapport entre leur vîtesse changeroit; & pendant que les uns perdroient par l'obliquité de leur route la moitié de leur marche, les autres en perdroient les deux tiers, dans le tems même que la mer seroit parfaitement calme, & qu'ils porteroient toutes leurs voiles. Ainsi les meilleurs voiliers, qui vont vent largue, avec les deux septiemes de la vîtesse du vent, n'avanceroient alors qu'avec environ la septieme partie: & les plus mauvais voiliers, qui vont ordinairement avec la cinquieme partie, n'iroient plus ensuite qu'avec la douzieme ou la quinzieme.

IV.

Enfin comme il ne s'agit dans tout ceci que de rapports moyens & déterminés à peu près, il ne faut pas s'attendre de pouvoir les appliquer dans la derniere rigueur à chaque vaisseau. Il n'est pas même vrai, dans l'état où est maintenant la navigation, que la vîtesse du navire qui fait la même route, soit toujours proportionnelle à la vîtesse du vent, ou en soit la même partie. Elle le seroit si la mâture étoit bien disposée: au lieu que dans l'état présent des choses, lorsqu'il semble que tout doit contribuer à accélerer le mouvement du vaisseau, lorsque le vent devient plus rapide, & qu'on donne en même tems beaucoup plus d'étendue aux voiles pour procurer encore une plus grande promptitude au sillage, il arrive souvent que la vîtesse bien loin d'augmenter selon les loix assignées par les regles de manœuvre qu'on nous a données jusqu'à présent, devient au contraire beaucoup plus petite. C'est que lorsque l'impulsion du vent augmente beaucoup, le navire enfonçant une plus grande partie de la proue dans

la mer, trouve plus de résistance à fendre l'eau; & le sillage est quelquefois plus retardé par cet endroit, qu'il n'est acceleré par l'autre. Quoiqu'il en soit, on peut toujours tirer diverses conséquences de notre recherche; & il en résulte entr'autres choses, qu'on doit mettre une grande différence entre la vîtesse absolue du vent & sa vîtesse respective par rapport au vaisseau; je ne dis pas pour obtenir une précision rigoureuse & parfaitement géométrique dans divers problêmes de Marine; mais pour parvenir même à cette exactitude limitée ou approchée, dont on se contente ordinairement dans les choses de pratique. Cette considération deviendra encore plus nécessaire, lorsqu'on réformera la figure & la disposition des vaisseaux sur les regles que nous donnons: car il y a tout lieu de croire, & on peut s'en assurer par un examen semblable à celui que nous venons de faire, qu'ils prendront quelquefois la moitié de la vîtesse du vent. Pour en juger tout d'un coup avec facilité, on peut se contenter d'instituer le calcul sur une proue conique; mais en supposant que le diametre de sa base n'est qu'environ la cinquieme partie de la longueur totale de la carene.

CHAPITRE II.

Du changement que le mouvement des surfaces produit au choc qu'elles reçoivent.

I.

CETTE attention de plus qu'il faut avoir dans les discussions de Marine qui ont rapport au mouvement du sillage consideré physiquement, les rend presque toutes beaucoup plus compliquées; il n'est néanmoins que trop certain qu'il n'est pas permis d'éluder cette difficulté. Imaginons-nous que la surface plane DE (Fig. 81.) est trans- Fig. 81.

portée toujours parallelement à elle-même de C en *c*, ou de DE en *de* pendant que le fluide parcourt l'espace CG, & une infinité d'autres lignes paralleles que nous ne pouvons pas marquer. Alors l'impulsion sera diminuée considérablement, parce que le mouvement de la surface fera comme perdre au fluide une partie de sa vîtesse, & le choc ne se fera plus qu'avec la vîtesse respective. Pour trouver cette vîtesse, je prolonge le plan *de* jusqu'à la rencontre en F de la direction VG; l'espace CF sera la partie retranchée de la vîtesse du fluide, & FG la vîtesse restante : & comme les impulsions des fluides sont comme les quarrés des vîtesses, le choc total sur la surface DE sera proportionnel au produit du quarré du sinus de l'angle d'incidence VCE par le quarré de la vîtesse respective FG. On verra évidemment que CF est la partie de la vîtesse que le mouvement du plan DE fait perdre au fluide, si l'on imagine que ce plan est assez grand, lorsqu'il est parvenu en *de*, pour s'étendre jusqu'en F, & couper la direction VCG. A l'aide de cette supposition, on se convaincra aisément que le point F du plan ne doit pas être choqué avec toute la vîtesse CG du fluide, mais seulement avec la vîtesse respective FG, puisque le plan fuit de la quantité CF, & que le fluide ne peut l'atteindre qu'avec l'excès de sa vîtesse. Or que le plan soit grand ou petit, c'est précisément la même chose; tous ses points doivent être choqués avec la même vîtesse FG.

II.

On peut maintenant reconnoître sans peine qu'il y a trois principaux cas à distinguer, qui naissent & de la situation de la surface, & de la direction selon laquelle la surface est transportée. 1°. Si la surface passe de DE en *de*, ou en *d2 e2*, pendant que le fluide qui se meut selon VG, parvient de C en G; la vîtesse respective FG ou F2G avec laquelle le fluide frappera la surface, sera moindre que la vîtesse absolue CG. 2°. Si la surface DE se meut dans son

ſon propre plan, en venant il n'importe avec quelle vîteſſe de ΔE en Δ2 E2; alors quoiqu'il ſemble qu'elle ait du mouvement par rapport au fluide, elle n'aura néanmoins aucun progrès réel par rapport à lui, puiſqu'elle coupera ſa direction VG toujours dans le même point C; & la vîteſſe reſpective ſera donc égale à l'abſolue. Enfin 3°. Si la ſurface DE eſt tranſportée de C en *x* ou en *x*2, toujours parallelement à elle-même, elle avancera effectivement vers le fluide qu'elle ira rencontrer avec la vîteſſe particuliere Cφ ou Cφ2; & la vîteſſe reſpective φG ou φ2G avec laquelle ſe fera le choc, ſera par conſéquent plus grande que la vîteſſe abſolue CG. Ces trois cas ne dépendent ni de la ſituation ſeule de la ſurface, ni auſſi de la direction ſeule de ſon tranſport; mais des deux conjointement. Lorſque la ſurface eſt tranſportée de DE en *d*2 *e*2, il ſemble qu'elle avance vers le fluide, & cependant elle ſe refuſe en partie à l'impulſion. Lorſqu'au contraire la ſurface eſt tranſportée de ΔE en δ2 ε2, elle ſemble fuir le fluide; & néanmoins elle en eſt choquée avec plus de force.

Fig. 81.

III.

Je ne m'arrête point ici à examiner ſi les trois cas précédens ne peuvent pas ſe ſubdiviſer; j'évite tout détail qui n'apporte pas une nouvelle lumiere. Mais je ne dois pas manquer de remarquer que ſi le plan qui reçoit le choc eſt tellement incliné par rapport à la direction du fluide, ou que ſi la vîteſſe de ſon tranſport eſt aſſez grande, pour que parvenu de DE en *de* toujours parallelement à lui-même, & étant cenſé prolongé juſqu'à la direction VG, il la coupe dans le point même G, comme dans la figure 82, la vîteſſe reſpective FG du choc ſera alors nulle. Le plan ſe ſouſtraira alors à l'impulſion avec autant de promptitude que le fluide, pour ainſi dire, le pourſuivra; & il traverſeroit ainſi éternellement le fluide, quoiqu'obliquement, ſans en recevoir jamais aucune atteinte. Il faut pour cela qu'il ſe meuve avec le degré précis de vîteſſe repréſenté

Fig. 82.

Fig. 81. par C*c* par rapport à la vîteſſe abſolue CG du fluide ; car s'il ſe mouvoit un peu plus vîte, le point F paſſeroit de l'autre côté de G, la vîteſſe reſpective GF du fluide deviendroit *négative* ; & ce ſeroit alors la ſurface qui reculant trop vîte, choqueroit le fluide qui ſe trouveroit derriere. Mais auſſitôt que le plan *de* étant prolongé, paſſera préciſément par le point G qui termine l'eſpace parcouru par le fluide, il ne ſera expoſé à aucun choc ni d'un côté ni de l'autre. S'il ne ſe meut pas préciſément dans le même ſens que le fluide, s'il eſt comme retiré de côté par ſon tranſport de C en *c*, ſon tranſport latéral joint à ſa ſituation oblique, ſuffit pour que tous ſes points avancent avec autant de promptitude, ſelon la direction CG, que les particules mêmes du fluide, & pour qu'ils n'en reçoivent par conſéquent aucun choc.

IV.

Entre une infinité de différentes applications dont ces remarques ſont ſuſceptibles, nous nous contenterons d'en faire ici une en peu de mots, ſur une matiere qui n'eſt pas de notre ſujet, mais qui en ſe repliant, pour ainſi dire, s'en rapprochera. Un grand nombre de Géometres n'ont pas dédaigné d'examiner la diſpoſition la plus parfaite des aîles ou des volans des moulins à vent, & ils ont trouvé que l'angle formé par l'aîle & par la direction du vent, devoit être de 54 degrés 44'. de même que celui que doit faire le gouvernail avec le prolongement de la quille, pour faire tourner le vaiſſeau avec le plus de promptitude qu'il eſt poſſible. Il eſt vrai que ſi l'on rend trop grand l'angle de l'aîle avec l'axe du moulin, on augmente l'impulſion du vent, mais que tout l'effort tend alors beaucoup plus à renverſer la machine qu'à faire tourner les aîles ; & que ſi au contraire on donne à ces mêmes aîles trop d'obliquité, il y aura une plus grande partie de l'effort du vent qui travaillera à les faire tourner ; mais que comme l'effort entier ne ſera que foible, la partie qui

produira l'effet qu'on demande, le sera encore beaucoup plus. Il y a donc un certain milieu, ou un *maximum*, qu'on a tâché de saisir ; mais faute d'avoir eu égard au changement que recevoit la vîtesse respective du vent, on a rendu l'examen trop limité pour qu'il pût être d'usage. Comme le corps du moulin est immobile, & que les volans ne changent de place que dans le sens perpendiculaire au vent, on s'est imaginé que leur vîtesse ne retranchoit rien de celle du vent ; au lieu qu'elle en retranche une partie très-considérable ; elle la retranche quelquefois toute : & pour dire encore plus, cette vîtesse latérale des volans est souvent telle, comme je l'ai remarqué plusieurs fois, que les aîles au lieu d'être choquées par le vent, choquent au contraire, par leur extrémité qui a plus de mouvement, l'air qui est derriere & qui ne se retire pas assez vîte ; ce qui fait que la voile s'enfle dans le sens contraire. Ainsi la situation qu'on a trouvé que la surface des aîles devoit avoir par rapport à l'axe ou à la direction du vent, n'est bonne que pour la partie qui est tout-à-fait proche du centre, parce qu'elle n'a que peu de vîtesse ; au lieu que les autres parties doivent faire un plus grand angle, à mesure qu'elles sont plus éloignées de l'axe, & il faudroit qu'elles fussent tout-à-fait perpendiculaires au vent, si l'aîle étoit infiniment longue. La surface du volant doit être selon cela fort éloignée d'être plane ; toutes ses parties doivent avoir differentes inclinaisons, & les troues des verges par lesquels on fait passer les especes d'échellons qui soutiennent les voiles, ne doivent donc pas être arrangés en ligne droite ; ils doivent être arrangés selon une certaine spirale ou hélice, dont ce n'est pas sans doute ici le lieu de marquer la nature ; mais qui a pour asymptote une droite tirée sur la surface de la verge dans le sens précis de sa longueur.

V.

Toutes les fois qu'on regarde ces aîles de moulin qui choquent par leurs extrémités l'air qui est derriere, on

diſtingue aiſément la partie qui eſt frappée par le vent, celle qui ne l'eſt pas, & celle qui l'eſt, mais dans le ſens contraire. Il ne reſte plus après cela, qu'à meſurer la vîteſſe de la partie qui n'eſt point frappée, cette viteſſe eſt repréſentée dans la figure 82, par l'eſpace C*c*; à cela près, que C*c* devroit être perpendiculaire à la direction VG du vent; & connoiſſant d'ailleurs l'angle CG*c* égal à l'inclinaiſon VCE de l'aîle par rapport à l'axe, ou à la direction du vent, on n'aura qu'à réſoudre le triangle GC*c* rectangle en C, & le côté CG apprendra quelle eſt la vîteſſe réelle ou abſolue du vent. On pourroit, ce me ſemble, ſur ce principe conſtruire aiſément des anémometres, qui au lieu de marquer la force du vent, en feroient connoître la vîteſſe; & ces inſtrumens ne manqueroient pas d'être utiles.

Fig. 82.

CHAPITRE III.

Suite du chapitre précédent. Des changemens que le mouvement du vaiſſeau apporte dans la force & dans la direction apparente du vent.

I.

POUR appliquer au mouvement des vaiſſeaux la plûpart des choſes que nous venons de dire, nous nous imaginerons que pendant que le vent parcourt l'eſpace CG (Fig. 83.) ſur la direction VG, le navire AB, dont DE eſt la voile, paſſe par le mouvement de ſon ſillage de C en *c*. Il eſt évident, par les raiſons expoſées ci-devant, que tous les divers points de la voile fuiront par rapport au vent, de la quantité CF, & qu'ils ne feront par conſéquent frappés que par le ſurplus FG, dont le vent va plus vîte. Le vaiſſeau eſt cependant repréſenté ici lorſqu'il ſingle *au plus près*, ou *à la bouline*, ou lorſqu'il avance vers

Fig. 83 & 86.

l'origine même du vent. Mais quoique le navire avance vers le vent, sa voile étant supposée prolongée jusqu'en F, coupe successivement, à cause de sa situation, la direction VG dans des points F, dont le progrès se fait dans le même sens que celui des particules d'air, & elle se soustrait d'autant à l'impulsion; pendant que diverses parties du vaisseau & qu'une voile dispoſée d'une autre maniere, pourront être choquées avec plus de vîtesse. Supposé donc que le vent parcoure l'espace CG de 50 pieds par secondes, & fasse sur un pied quarré de surface une force de 6 livres; des voiles de 15474 pieds d'étendue, comme celles que nous avons considerées dans le premier chapitre, étant frappées perpendiculairement, recevroient une impulsion de 92844 livres. Mais si l'angle d'incidence VCE est d'environ $19\frac{1}{2}$ degrés, dont le sinus est le tiers du sinus total, l'impulsion sera diminuée neuf fois par ce seul endroit; & si la vîtesse respective FG n'est que de 25 pieds, moitié de la vîtesse absolue CG, l'impulsion sera encore diminuée quatre fois, & sera par conséquent 36 fois moindre, ou seulement de $3863\frac{1}{2}$ livres. Or cette impulsion est à la premiere 92844, comme le produit du quarré du sinus de $19\frac{1}{2}$ degrés par le quarré de la vîtesse relative 25 pieds, est au produit du quarré du sinus total par le quarré de la vîtesse absolue 50.

Fig. 83 & 86.

II.

On peut toujours faire entrer de cette sorte la considération des vîtesses respectives du vent dans toutes les recherches où la vîtesse absolue est *donnée*. Mais comment connoître en mer la vîtesse respective FG; comment découvrir la vîtesse absolue CG, pendant que le vaisseau est en mouvement? Nous ne faisons pas encore sentir toute la difficulté; car il n'y a pas jusqu'à la direction du vent qui ne soit alterée par le mouvement du vaisseau. Nous avons montré que si la surface *de* qui reçoit l'impulsion, étoit encore située plus obliquement, & que sa

Fig. 83. prolongation *c*F coupât la direction VCG du vent, non pas dans le point F, mais dans le point G, la vîtesse respective du vent seroit alors réduite à rien, & qu'il n'y auroit plus d'impulsion. Il suit de-là que les *girouettes*, les *flammes* & tous les autres instrumens dont on se sert en mer pour découvrir la direction du vent, ou ne l'indiquent pas, ou ne l'indiquent que quand le navire est dans un parfait repos, ou que lorsqu'il single parfaitement vent en poupe. Au lieu de se placer parallelement à la vraie direction VG, ces instrumens se placent sur *c*G en se tournant vers le point G, qui termine l'espace CG parcouru par le vent, & induisent à une erreur égale à l'angle CG*c*. Les particules d'air qui étoient en C avec le vaisseau, parviennent en G, en même-tems que le vaisseau arrive en *c*. Elles s'éloignent effectivement du navire de la quantité *c*G; c'est selon *c*G qu'elles s'en éloignent, & par conséquent *c*G marque leur vîtesse respective par rapport au navire; & c'est aussi selon cette même ligne que les pavillons & les flammes doivent se situer pour ne point recevoir d'impulsion.

L'angle CG*c* dont on est sujet à se tromper, peut se trouver de 18 ou 20 degrés, dans le tems même que les courans ne contribuent point à l'augmenter en jettant le navire de côté. Cet angle deviendra plus grand, lorsque le sillage sera plus rapide, & si le vaisseau marchoit sur *l'autre bord*, l'erreur seroit de la même quantité de l'autre côté; de sorte que la direction du vent peut paroître changer de 36 ou 40 degrés, ou de la neuvieme ou dixieme partie du tour de l'horison, quoiqu'elle soit constamment la même, & que tout le changement ne soit qu'apparent. Je ne mets ce changement total à 36 ou 40 degrés, que parce que je ne considere les choses que dans l'état actuel où elles sont : car si on employoit les moyens que nous indiquerons pour rendre la vîtesse du navire beaucoup plus grande, le même changement pourroit aller extrêmement plus loin. Il ne seroit pas même impossible qu'un vent d'orient parût venir presque du nord; & presque

ensuite du sud, lorsqu'on change de route. Le vent, en un mot, doit sembler prendre une autre direction toutes les fois que le navire fait un autre chemin, ou qu'on fait changer sensiblement sa vîtesse, par l'addition ou le retranchement de quelques voiles dans les routes obliques. Le Marin est trompé ici par le mouvement du vaisseau précisément de la même maniere que l'est le Sectateur de Ptolomée par le mouvement de la terre. Comme il faut toujours quelque tems pour embrasser une nouvelle route, ou pour orienter les voiles, on s'imagine que c'est le vent qu'on accuse encore d'une plus grande inconstance que celle qu'il a effectivement, qui a changé dans cet intervalle; & c'est ce qui est cause qu'on a navigé jusqu'à présent, sans rien soupçonner de cette particularité du mouvement du sillage.

Fig. 83.

Mais ce qui est tout-à-fait heureux, & ce qui peut passer pour une espece de paradoxe, c'est que pendant que nous sommes en mer, & que tout contribue à nous tromper; pendant que nous jettons inutilement la vue autour de nous, pour trouver quelque chose de fixe; pendant que tout nous paroît se mouvoir, & que nous ne pouvons pas démêler le réel de l'apparent; pendant enfin que nous ignorons & la vîtesse absolue du vent, & la direction même selon laquelle il se meut; nous n'avons qu'à mesurer l'angle apparent d'incidence & la vîtesse apparente du vent, & nous serons en état de découvrir la vraie impulsion que souffrent les voiles, comme si tous ces élemens n'étoient pas alterés. L'angle d'incidence apparent ou relatif sera l'angle FcG, formé par la voile & par la direction apparente cG du vent, pendant que cG sera la vîtesse apparente du vent, sa vîtesse relative par rapport au corps du vaisseau, ou celle qu'on trouveroit, si on jettoit au vent des duvets ou des flocons de laine. Cette vîtesse relative cG qu'a le vent par rapport au navire, est comme on le voit bien differente de celle FG qu'il a par rapport à la voile; parce que celle-ci est dépendante de la situation particuliere de la voile. Mais le produit du quarré du sinus

Fig. 83. de l'angle d'incidence apparent F*c*G par le quarré de la vîtesse apparente *c*G, sera toujours précisément égal au produit du quarré du sinus du premier angle d'incidence VCE par le quarré de la premiere vîtesse respective FG, de celle qui est respective par rapport à la voile; second produit qui exprime, ainsi que nous l'avons vu, la grandeur de l'impulsion.

Il suffit, pour s'assurer de l'égalité parfaite de ces deux produits, de considerer que dans le triangle GF*c*, le sinus de l'angle F, qui est égal à l'angle VCE, est à *c*G, comme le sinus de l'angle F*c*G est à FG; car il suit de-là que le produit ou le rectangle du sinus de l'angle F, ou de l'angle VCE par FG, est égal au produit du sinus de l'angle F*c*G par *c*G; & ces deux produits étant égaux, leurs quarrés le seront également.

Ainsi nous avons deux différentes expressions de l'effort du vent sur la voile, & chacune aura son utilité. La premiere, dont il est, ce me semble, plus naturel de se servir dans les spéculations de manœuvre, consiste à multiplier le quarré du sinus de l'angle VCE par le quarré de FG; le quarré du sinus de l'angle vrai d'incidence par le quarré de la vîtesse respective du vent, non pas eu égard au vaisseau, mais eu égard à la voile. La seconde expression, qui me paroît préférable, lorsqu'il s'agit effectivement de pratique & qu'on est en mer, c'est de prendre le produit du quarré du sinus de l'angle d'incidence apparent F*c*G par le quarré de la vîtesse apparente *c*G du vent. Ces deux expressions sont parfaitement équivalentes; & si elles n'apprennent pas la quantité absolue de l'effort, comme on peut l'apprendre par l'anémometre, elles nous marqueront au moins toujours le rapport selon lequel ces efforts changent.

III.

Les flammes & les girouettes ne donnent, lorsqu'on est à terre, que très-imparfaitement la direction du vent; de même

même qu'en mer elles ne donnent qu'imparfaitement la direction apparente ou relative. Je ne sache rien qui indique mieux cette direction que ces instrumens de papier ou de toile, qui étant attachés à une longue ficelle, se soutiennent en l'air par le choc du vent, & servent de jeu aux enfans, en même tems qu'ils peuvent être un sujet de méditation pour les Méchaniciens. Ces instrumens en mer ne montreroient encore par la situation de la ficelle qui les retient, que la direction relative du vent, mais avec précision; & les remarques précédentes mettroient en état de découvrir la direction réelle ou absolue qu'il est utile & quelquefois nécessaire de connoître, quand ce ne seroit que pour réduire en pratique les différentes regles de manœuvre que nous savons. Dans le triangle obliqueangle C*c*G, l'angle C*c*G que forme la route C*c* avec la direction apparente *c*G est toujours donné. On aura de plus par les regles du pilotage, le côté C*c* qui est la vîtesse actuelle du vaisseau; & il ne sera pas difficile de mesurer la vîtesse apparente *c*G du vent, ou de la conclure de l'impulsion que recevra une surface d'une étendue connue. Résolvant le triangle, on découvrira l'angle requis G, qui sera la quantité dont il faudra corriger la direction apparente *c*G, indiquée par les pavillons & les girouetes, pour avoir la vraie direction VG. Dans les cas où il ne sera pas besoin d'une plus grande précision, on pourra résoudre le triangle CG*c* à vue d'œil, en se contentant de supposer que la vîtesse absolue CG du vent est trois ou quatre fois plus grande que celles C*c* du vaisseau, selon la diverse obliquité de la route.

Pag. 82.

Il est à propos de bien remarquer qu'on se trompe toujours dans le même sens, lorsqu'on prend la direction apparente du vent pour la direction réelle. On croit toujours que le vent est plus voisin de la proue qu'il ne l'est effectivement. Ainsi lorsqu'on single au plus *près*, ou *à la bouline*, on ne pince jamais tant le vent qu'il paroît qu'on le fait, à en juger par les girouettes ou par les flammes. J'ai même reconnu quelquefois qu'on ne gagnoit du tout point, lors-

qu'on penſoit faire des *bordées* très-avantageuſes. On s'imaginoit avancer vers l'origine du vent : mais on ne faiſoit effectivement de part & d'autre que des routes ou des bordées perpendiculaires à ſa direction réelle.

CHAPITRE IV.

De la relation qu'il y a entre la dérive des vaiſſeaux & la ſituation de leurs voiles.

I.

NOUS avons vu dans la ſection précédente * que l'impulſion directe de l'eau ſur la proue entiere, eſt toujours repréſentée par $\frac{\sigma^2}{n^2}A + \frac{s^2}{n^2}B$, pendant que l'impulſion latérale, dans le ſens perpendiculaire à l'axe, l'eſt par $\frac{2s\sigma}{n^2}B$; quelle que ſoit l'obliquité de la route, ou la direction ſelon laquelle ſe fait le choc. A déſigne, comme on le ſait, l'impulſion ſelon l'axe pour la route directe, ou pour le cas où il n'y a point de dérive; B la plus grande impulſion latérale que ſouffre la proue dans les routes obliques de 45 degrés; & s marque le ſinus de l'obliquité de chaque route particuliere ou de l'angle de la dérive, & σ ſon ſinus de complement, pendant que n indique le ſinus total. Ces impulſions particulieres A & B ſervent à former les impulſions directes $\frac{\sigma^2}{n^2}A + \frac{s^2}{n^2}B$, & les impulſions latérales $\frac{2s\sigma}{n^2}B$ pour tous les autres cas. Or ſi pour compoſer ces deux forces on prend dans le ſens de la quille depuis C juſqu'en K (Fig. 84.) l'eſpace CK pour repréſenter la premiere, ou l'impulſion directe, & ſur la perpendiculaire CL l'eſpace CL pour repréſenter la ſeconde force, ou l'impulſion relative ſelon le ſens latéral, & que nous achevions le rectangle KCLM, ſa diagonale CM nous marquera la quantité & la direc-

* Voyez l'art. 4. du dernier chapitre.

Fig. 84.

tion de l'impulsion entiere selon le sens horisontal. C'est à cette ligne qu'il faut que la voile DE soit perpendiculaire, afin que les efforts du vent selon CF, & de l'eau selon CM, puissent, comme nous l'avons expliqué dans le premier chapitre de la section précédente, se détruire mutuellement, quant au sens horisontal, & le vaisseau avancer d'un mouvement parfaitement uniforme.

Fig. 84.

Mais la voile DE étant perpendiculaire à la direction CM du choc absolu de l'eau, si on prend CO pour représenter le sinus total (n) & qu'on lui tire dans le plan de l'horison la perpendiculaire EN, cette ligne coupera la voile, ou son prolongement, dans le point N; nous aurons OH pour la tangente de l'obliquité de la route, ou de l'angle OCH de la dérive, tangente que nous désignerons par m; & nous aurons en même tems ON, que nous nommerons t, pour la tangente de l'angle OCN que fait la voile avec la quille. Cela supposé, nous considérerons que le triangle rectangle CON est semblable au triangle MKC, & que nous pourrons faire cette analogie : l'impulsion latérale de l'eau CL, ou KM, qui est égale à $\frac{2sr}{n^2}$ B, est à l'impulsion directe CK $= \frac{r^2}{n^2}$ A $+ \frac{s^2}{n^2}$ B, comme le sinus total CO$=n$ est à la tangente ON (t) de l'angle que fait la voile avec la quille; & nous aurons l'équation $t = \frac{nrA}{2sB} + \frac{ns}{2r}$ qui se réduit à $t = \frac{n^2 A}{2mB} + \frac{1}{2}m$, lorsqu'on substitue à la place du rapport $\frac{s}{r}$ du sinus de l'angle de la dérive & de son sinus de complement, le rapport $\frac{m}{n}$ qui lui est égal, de la tangente du même angle & du sinus total. Or nous aurons de cette sorte une expression très-simple & très-générale de la relation qu'il y a pour les proues de toutes les figures, entre la tangente t de l'angle que fait la voile avec la quille & la tangente m de l'obliquité de la route. Il est vrai qu'il reste à connoître ou les quantités même A & B, ou au moins leur rapport $\frac{A}{B}$. On peut les découvrir

Fig. 84. assez aisément par l'examen de la figure de la proue, comme on l'a vu dans le Chapitre VI. de la section précédente. Mais il sera plus commode de se borner à en connoître le seul rapport, & de consulter pour cela l'expérience, en cherchant une seule fois pour toutes, la quantité de la dérive pour une certaine disposition de voiles, comme le faisoit M. Renau.

II.

Il n'y a en effet, lorsqu'on navige proche de terre, qu'à remarquer le point de la côte qui paroît toujours au même rumb de vent, pendant que tous les autres points en changent sans cesse, à mesure qu'on avance, & on aura la vraie direction que suit le vaisseau. Cette direction sera différente de la quille, si les voiles sont orientées obliquement par rapport à la longueur du navire, & la quantité de la dérive sera connue par la disposition actuelle des voiles. On pourra découvrir cette même quantité de la dérive de plusieurs autres manieres. Les Marins se contentent, par exemple, presque toujours de prendre pour la vraie route du navire la trace qu'il laisse derriere lui dans l'eau, & ils mesurent avec une boussole ou avec quelqu'autre instrument, l'angle que fait cette trace avec la quille. Or supposons que c soit la tangente de cet angle de dérive actuellement mesuré, & b la tangente de l'angle que fait la voile avec la quille; mettant c & b à la place de m & de t dans l'équation générale $t = \frac{n^2 A}{2mB} + \frac{1}{2} m$, nous la changerons en $b = \frac{n^2 A}{2cB} + \frac{1}{2} c$, qui nous fournit $\frac{A}{B} = \frac{2bc - c^2}{n^2}$, & nous fait connoître le rapport $\frac{A}{B}$ dont nous avions besoin. Substituant ensuite sa valeur dans l'équation générale, on aura la formule $t = \frac{2bc - c^2}{2m} + \frac{1}{2} m$ par le moyen de laquelle on pourra trouver toujours aisément la disposition que doit avoir la voile pour tous les autres angles de dérive. On peut avec la même facilité résoudre le problême inverse:

c'est-à-dire, trouver la quantité de la dérive, lorsque la disposition de la voile est donnée. Il n'y a pour cela qu'à traiter m comme inconnue dans l'équation $t = \frac{2bc - c^2}{2m} + \frac{1}{2}m$, & on en déduira la formule $m = t \pm \sqrt{t^2 + c^2 - 2bc}$. Ainsi on voit que la chose est presque ramenée à cette premiere simplicité où M. Renau n'avoit cru la mettre, que parce qu'il se trompoit.

Fig. 84.

Si pendant que la voile fait avec la quille un angle de 60 degrés, on trouve que la dérive est de 4 degrés, il n'y aura qu'à mettre continuellement dans notre formule les tangentes de 4 & de 60 degrés, à la place de c & de b; & faisant ensuite la tangente t de l'angle de la voile & de la quille de quelle grandeur on voudra, on trouvera la dérive qui y convient. C'est de cette façon qu'on a calculé la table suivante; & on y a mis différentes colonnes de dérive, afin de pouvoir l'étendre à toutes les diverses figures que pourra avoir la proue. Supposé que la dérive, au lieu de se trouver de 4 degrés, se trouve de 8 degrés 46' lorsque la voile fait un angle de 60 degrés avec la quille, ce ne sera pas la seconde colonne, mais la quatriéme qui conviendra au navire dont il s'agit. On pourra même, lorsque les vaisseaux s'inclinent considérablement, ou toutes les fois que l'eau ne frappera pas sur les mêmes parties de la carene, examiner la dérive dans chacun de ces états, & voir la colonne qu'il faut choisir pour la mieux représenter.

TABLE GENERALE

Des angles de dérive des divers Vaisseaux, pour tous les divers angles que fait la voile avec la quille.

Angles de la voile & de la quille.	Dérives.		Dérives.		Dérives.		Dérives.		Dérives.		Dérives.	
D.	D.	M.	D.	M.	D.	M.	D.	M.	D.	M.	D.	M.
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	1	12	1	49	2	35	3	2	3	36	3	48
75	1	51	2	47	3	57	4	39	5	30	5	49
70	2	30	3	48	5	24	6	22	7	33	7	59
68	2	47	4	13	6	1	7	5	8	21	8	54
66	3	4	4	30	6	39	7	50	9	16	9	52
64	3	22	5	8	7	20	8	38	10	14	10	52
62	3	40	5	34	8	2	9	29	11	16	11	56
60	4	0	6	7	8	46	10	22	12	21	13	4
58	4	21	6	40	9	33	11	19	13	29	14	17
56	4	43	7	14	10	23	12	20	14	42	15	35
54	5	7	7	51	11	18	13	27	16	5	17	5
52	5	32	8	30	12	17	14	38	17	34	18	39
50	5	57	9	13	13	22	15	58	19	14	20	28
49	5	11	9	35	13	56	16	40	28	9	..	..
48	6	25	10	59	14	33	17	27				
47	6	40	10	25	15	13	18	18				
46	6	56	10	52	15	56	19	13				
45	7	13	11	19	16	42	..	..				
44	7	31	11	49	17	30	..	..				
43	7	50	12	21	18	23						
42	8	10	12	55	..	..						
41	8	30	13	31	..	..						
40	8	51	14	10	..	..						
39	9	14	14	54	..	..						
38	9	40	15	41								
37	10	8	16	33								
36	10	38	..	..								
35	11	9	..	..								
34	11	44	..	..								
33	12	28										
32	13	8										
31	13	59										
30	14	58										

III.

Nous pouvons exprimer auſſi très-aiſément par le moyen d'une figure la relation des deux angles dont il s'agit. Il y a même rapport de CO à OF, ou de CT à TP, lorſque TP eſt parallele à OF, que de l'impulſion directe CK $= \frac{r^2}{n^2} A + \frac{s^2}{n^2} B$, à l'impulſion latérale CL ou KM $= \frac{2sr}{n^2}$ B; ou que de $\frac{r}{2s} A + \frac{s}{2r}$ B à B, qui ſont les deux impulſions diviſées également par $2sr$ & multipliées par n^2; ou que de $\frac{n}{2m} A + \frac{m}{2n}$ B à B (en mettant à la place de $\frac{r}{s}$ la quantité $\frac{n}{m}$ qui lui eſt égale,) ou qu'enfin de $\frac{nA}{2B} + \frac{m^2}{2n}$ à m (en multipliant de part & d'autre par m & en diviſant par B). Mais puiſque CT eſt à TP comme $\frac{nA}{2B} + \frac{m^2}{n2}$ eſt à m, il eſt évident que ſi nous conduiſons juſqu'à CF la parallele HP à la quille, afin de faire PT égale à OH $= m$, la partie CT de l'axe CO ſera égale à $\frac{nA}{2B} + \frac{m^2}{2n}$; ce qui montre que cette partie CT eſt formée de deux portions, dont l'une CQ exprimée par $\frac{nA}{2B}$ eſt conſtante dans toutes les routes, & l'autre QT exprimée par $\frac{m^2}{2n}$ eſt variable & proportionnelle au quarré de la tangente m de la dérive : elle eſt par conſéquent égale aux abſciſſes QT d'une parabole SQPR dont $2n$ ou le double de CO eſt le parametre, & dont les ordonnées TP ſont égales aux tangentes correſpondantes OH des angles de dérive. Auſſi-tôt donc qu'on aura trouvé par l'expérience dont nous avons parlé, l'angle de la dérive HCO pour une certaine diſpoſition de voile DE, il n'y aura qu'à conduire de l'extrémité H de la tangente de cet angle une parallele HP à la quille juſqu'à la rencontre de la perpendiculaire CF à la voile, & on aura le point P par lequel doit paſſer la parabole SPR dont CO eſt l'axe & qui doit avoir le double de CO pour parametre. On peut ſans doute ſe diſpenſer d'avertir que pour trouver le ſommet Q de

Fig. 84.

Fig. 84. cette ligne courbe, il n'y a qu'à faire l'eſpace TQ égal à une troiſieme proportionnelle au double de CO & à TP. Enfin la parabole SPR étant tracée, elle ſervira pour toutes les routes & pour toutes les diſpoſitions de voile : & tous les points correſpondants P & H ou p & h dans leſquels les perpendiculaires CF à la voile couperont la parabole, & dans leſquels les routes CH couperont la droite NF, ſeront toujours ſitués ſur des paralleles PH à l'axe CO. Il eſt vrai que la parabole RQS ne convient qu'à un ſeul navire pour toutes ſes routes ; mais rien n'empêche de tracer pluſieurs autres paraboles égales & aſymptotiques ; ce qui rendra la figure 84 univerſelle.

CHAPITRE V.

Des différentes vîteſſes que prend le vaiſſeau dans les routes obliques.

I.

L'Opération, ſans être beaucoup plus difficile, ſera ſeulement plus longue, lorſqu'on voudra trouver la relation qu'ont entr'elles les diverſes vîteſſes avec leſquelles ſingle le navire. Il eſt évident que ſi l'ordonnée PT de la parabole SQR (Fig. 84.) au lieu d'être égale à OH $= m$, étoit égale à l'impulſion latérale $\frac{2s\sigma}{n^2}$ B que ſouffre la proue, la ligne CP repréſenteroit l'impulſion abſolue ; puiſqu'il y a même rapport de TP à CP que de KM ou CL à CM. Mais il n'y a du point O qu'à abaiſſer la perpendiculaire OX ſur la route CH ; cette perpendiculaire ſera le ſinus que nous avons indiqué par s, de l'obliquité de la route, & CX ſera le ſinus (σ) de complement : & ſi du point X on abaiſſe la perpendiculaire XZ ſur la quille prolongée, cette perpendiculaire ſera égale à $\frac{s\sigma}{n}$ ($= \frac{XO \times CX}{CO}$;) puiſqu'on

puiſqu'on aura cette analogie ; $CO = n \mid CX = \sigma \parallel XO = s \mid XZ = \frac{s\sigma}{n}$. Ainſi ſi cette ſeconde perpendiculaire XZ n'eſt pas égale à l'impulſion latérale $\frac{2s\sigma}{n^2}$ B, elle lui ſera au moins toujours proportionnelle, & pourra la repréſenter : il ſuffit donc de conduire du point X une parallele XY juſqu'à la rencontre Y de la direction CF de l'effort de la voile, & la partie retranchée CY de cette direction repréſentera l'impulſion abſolue de l'eau. *Fig. 85.*

Si on fait la même choſe pour toutes les autres routes, on aura une infinité de points Y qui formeront une courbe VQ*v*&, laquelle ſera la *limitatrice* de toutes les impulſions abſolues CY que ſouffre la proue entiere dans le ſens de l'horiſon. Cette courbe, comme il eſt aſſez facile de le prouver, eſt une ellipſe dont le grand axe V*v* eſt égal à CO, moitié du parametre de la parabole ; & ſon ſecond axe Q& eſt terminé entre le ſommet Q de la parabole & le point & qui diviſe CO par la moitié.

Cette ellipſe ſe réduit à une ſeule ligne droite, lorſque l'axe Q& ſe réduit à rien, ou lorſque le ſommet Q de la parabole eſt exactement au milieu de CO ; & c'eſt ce qui arrive lorſque la proue a cette propriété particuliere, dont nous avons parlé ci-devant, de recevoir de la part de l'eau toujours la même impulſion ſelon ſon axe, quelle que ſoit la route qu'elle ſuive. Nous avons ſpécifié ci-devant les circonſtances qui conferent cette proprieté à la proue : & alors les impulſions abſolues ſont comme les ſécantes des angles FCO que fait la perpendiculaire à la voile avec la quille. Un autre cas qui mérite quelque attention, quoiqu'il faſſe un cas extrême, ſeulement poſſible géometriquement, c'eſt lorſque la proue eſt infiniment aigüe, & que l'impulſion, ſelon le ſens de l'axe, eſt nulle dans la route directe ; alors le point Q tombe en C, & le grand axe V*v* de l'ellipſe eſt exactement double du petit axe. Après tout les impulſions abſolues ne ſont repréſentées par CY que dans la ſuppoſition que la vîteſſe du na-

Fig. 84. vire est la même : si on veut avoir égard aux diverses promptitudes du sillage, & qu'on en désigne la vîtesse, par v, il faut multiplier CY par v^2, puisque toutes les autres circonstances étant les mêmes, les impulsions changent comme les quarrés des vîtesses. Tout consideré, la résistance absolue de l'eau contre la proue sera donc exprimée par $v^2 \times$ CY, & c'est cette résistance qui doit être égale à l'effort que fait le vent sur les voiles dans le sens directement contraire.

II.

Si nous désignons par a la vîtesse absolue du vent, par p le sinus de l'angle d'incidence que fait sa vraie direction avec la voile, & par q le sinus de l'angle de la voile avec la route; nous aurons $\frac{qv}{p}$ pour la partie de la vîtesse que le vent perd par le mouvement ou par la fuite du vaisseau; & $a - \frac{qv}{p}$ pour la vîtesse respective du vent. C'est ce qu'on voit avec évidence, en jettant les yeux sur la Figure 83, Fig. 83. & en se rappellant ce que nous avons dit au chapitre III. La vîtesse absolue a du vent est représentée par l'espace CG; mais le vaisseau en parcourant l'espace Cc qui représente sa vîtesse particuliere, sa voile fuit le vent de la quantité CF, & pour trouver cette quantité, il n'y a qu'à faire cette analogie; le sinus p de l'ange F, égal à l'angle d'incidence ECV, est à la vîtesse C$c = v$ du navire, comme le sinus q de l'angle ECc, ou CcF, que fait la voile avec la route, est au côté CF $= \frac{qv}{p}$; & si on retranche CF de CG, on aura $a - \frac{qv}{p}$ pour la vîtesse respective du vent. Mais les impulsions des fluides étant comme les produits du quarré de leur vîtesse par le quarré du sinus de leur angle d'incidence, multipliés par l'étendue de la surface & par la densité du fluide; si nous prenons E pour représenter, non pas seulement l'étendue de la voile, mais cette étendue appliquée à la densité de l'air, nous aurons

Fig. 84.

$\overline{a - \frac{qv}{p}}^2 \times \frac{p^2}{n^2}$ E pour l'effort abſolu du vent ſur les voiles. Nous multiplions l'étendue E, non-ſeulement par le quarré de la vîteſſe reſpective du vent, mais auſſi par $\frac{p^2}{n^2}$ qui eſt proportionnel au quarré du ſinus p de l'angle d'incidence, parce que cet effort dépend de toutes ces quantités : & comme il doit être égal à la réſiſtance de l'eau contre la proue, nous avons l'équation $v^2 \times CY = \overline{a - \frac{qv}{p}}^2 \times \frac{p^2}{n^2} E$, dont on tire $v\sqrt{CY} = \overline{a - \frac{qv}{p}} \times \frac{p}{n} \sqrt{E}$, ou $nv\sqrt{CY} = \overline{ap - qv\sqrt{}}\,E$ & $v = \frac{ap\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$. De ſorte que nous avons pour toutes les routes la vîteſſe du navire exprimée en grandeurs connues, ou en grandeurs que nous pouvons toujours connoître avec facilité.

III.

Il eſt effectivement très-aiſé de découvrir par une ſeule expérience & indépendamment des autres moyens que nous avons déja donnés, la relation de CY (Fig. 84.) & de l'étendue E des voiles. L'expreſſion générale $v = \frac{ar\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$ des vîteſſes du navire, ſe réduit à $v = \frac{a\sqrt{E}}{\sqrt{CQ} + \sqrt{E}}$ dans le cas de la route directe, lorſque CY devient CQ, & que le ſinus p de l'angle d'incidence du vent eſt égal au ſinus total n, de même que le ſinus q de l'angle que fait la voile avec la route. Mais de $v = \frac{a\sqrt{E}}{\sqrt{CQ} + \sqrt{E}}$ on en déduit $v\sqrt{CQ} = a\sqrt{E} - v\sqrt{E}$, & l'analogie $a - v \mid v \parallel \sqrt{CQ} \mid \sqrt{E}$. Ainſi il n'y a qu'à chercher une ſeule fois dans la route directe la vîteſſe reſpective $a - v$ du vent par rapport au vaiſſeau ; en laiſſant aller au vent quelques duvets ou quelques autres corps très-legers, & en meſurant l'eſpace qu'ils parcourent dans le vaiſſeau dans un certain tems. Si on met après cela cette vîteſſe reſpective $a - v$ au premier terme d'une proportion dont la vîteſſe même v du vaiſ-

Fig. 84. ſeau ſera le ſecond, qu'on connoîtra par les moyens qee fournit le pilotage, il ne reſtera plus qu'à mettre la racin- quarrée de CQ au troiſieme terme, & on aura au quatrie me la racine quarrée de l'étendue E qu'il faudra introduire dans la formule générale $v = \frac{ap\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$. Suppoſé que k exprime combien de fois la vîteſſe abſolue du vent eſt plus grande que celle que reçoit le navire dans la route directe, on aura $\sqrt{E} = \frac{1}{k-1}\sqrt{CQ}$; & $v =$
$= \frac{ap\sqrt{CQ}}{k-1 \times n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}}$, qui ſe réduira à $v = \frac{ap\sqrt{CQ}}{2n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}}$, lorſque la vîteſſe abſolue du vent ſera triple de celle du navire dans la route directe; à $v = \frac{ap\sqrt{CQ}}{3n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}}$ lorſque la vîteſſe abſolue du vent ſera quadruple, &c. Expreſſions qui ſont toutes extrêmement ſimples, & qui ne contiennent que des grandeurs que la figure nous offre pour ainſi dire.

IV.

Nous croyons devoir inſiſter un peu ſur la formule générale $v = \frac{ap\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$, pour faire remarquer que généralement parlant, il s'en faut beaucoup que les vîteſſes du navire ſoient proportionnelles, comme on ſe l'imagine ordinairement, aux racines quarrées $\sqrt{E}$ de l'étendue des voiles, lorſque toutes les autres circonſtances ſont les mêmes. Le P. Fournier croyoit qu'elles étoient proportionnelles aux étendues mêmes; de ſorte que quatre fois plus de ſurface de voile devoit faire marcher le vaiſſeau quatre fois plus vîte. Je fus extrêmement étonné, je l'avoue, que l'expérience ne fît pas ſentir à cet Auteur qui paſſoit une partie de ſa vie ſur mer, combien il ſe trompoit. Les Mathématiciens qui ſont venus depuis & qui ont examiné la choſe avec plus de ſoin, ont penſé que les vîteſſes du ſillage n'étoient que comme les racines quarrées des ſurfaces des voiles; de ſorte qu'ils ont prétendu que quatre fois plus de ſurface, au lieu de faire ſingler le navire quatre fois plus

vîte, ne lui procuroit que deux fois plus de vîtesse. C'est ce qui approche beaucoup plus d'être vrai ; mais ce qui ne l'est cependant encore, que lorsqu'on suppose la vîtesse du vent infinie par rapport à celle du sillage. Lorsqu'on admet cette supposition & que le navire marche deux fois plus vîte, il éprouve quatre fois plus de résistance de la part de l'eau ; cette résistance est comme le quarré de la vîtesse, & pour la vaincre il suffit de faire les voiles quatre fois plus grandes.

Mais que la vîtesse du sillage soit comparable à celle du vent, comme elle l'est en effet, ce n'est plus la même chose : il ne suffit pas de donner aux voiles quatre fois plus de surface ; parce qu'outre la grandeur qu'il faut leur donner pour vaincre la résistance, il faut leur en donner encore pour réparer la diminution que souffre l'impulsion du vent par la fuite plus rapide du navire. Supposé qu'un vaisseau prenne le tiers de la vîtesse du vent & qu'il s'agisse ensuite de le faire aller deux fois plus vîte, ou de lui faire recevoir les 2 tiers de la vîtesse du vent ; il faut d'abord rendre sa voile quatre fois plus grande, puisque le navire trouvera quatre fois plus de résistance de la part de l'eau : mais la vîtesse respective du vent étant ensuite deux fois moindre, & son impulsion particuliere quatre fois plus petite, il faudra encore augmenter l'étendue des voiles quatre fois. Ainsi il faudra leur donner non pas simplement quatre fois, mais seize fois plus de surface, pour faire doubler le sillage. En un mot, *lorsqu'on veut faire croître la vîtesse de la marche dans un certain rapport, il ne suffit pas d'augmenter l'étendue des voiles selon le quarré de ce rapport, il faut encore toujours l'augmenter en même raison que le quarré de la vîtesse respective du vent se trouve plus petite.* On voit après cela combien les maximes ordinaires de manœuvre sont défectueuses au moins à cet égard : & on peut remarquer aussi que s'il a été facile par une disposition même grossiere de toutes les parties du navire, de donner au sillage une certaine rapidité, il est maintenant extrêmement difficile de procurer à cette premiere vîtesse qui a coûté si peu, une

augmentation considérable. C'eſt un terme qu'on ne ſe réſoudra peut-être jamais à paſſer, & auquel on ne parviendra même toujours qu'avec quelque peine, que de faire prendre aux frégates legeres dans leur marche la moitié de la vîteſſe abſolue du vent.

V.

Fig. 84. Par un bonheur ſur lequel on ne pouvoit pas compter, car la choſe n'a pas été examinée, cette autre maxime ſe trouve vraie; *que la viteſſe du ſillage eſt toujours proportionnelle au ſinus de l'angle d'incidence reel du vent ſur les voiles, lorſqu'on reçoit le vent plus ou moins obliquement, & que les autres circonſtances ſont les mêmes.* Il faut bien remarquer que nous ne diſons pas l'angle d'incidence apparent: car la regle n'eſt exacte que pour l'angle d'incidence vrai, qui par malheur n'eſt viſible que ſur le papier, ou dans les figures. Dans la formule $v = \frac{ap\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$, on s'apperçoit que v eſt effectivement proportionnelle à p. Car la voile faiſant toujours le même angle avec la route, le ſinus q ſera conſtant, de même que la quantité CY; de ſorte que la valeur de v ne change que par le changement de p & dans le même rapport; ſelon qu'en plaçant differemment le navire, ſa voile reçoit le vent plus ou moins perpendiculairement. Mais il arrive ici comme dans la plûpart des autres recherches qui ſe font par le moyen de l'Algebre, qu'on trouve ſûrement la vérité & qu'on ne la voit pas: car ce n'eſt pas la voir que de n'en pas appercevoir la cauſe ou la raiſon. Elle ſe montrera à nous cette raiſon, ſi nous jettons les yeux ſur la figure Fig. 86. 86, qui repréſente le vaiſſeau en deux différentes ſituations par rapport au vent, & la voile toujours diſpoſée de même maniere par rapport à la quille.

Lorſque le vaiſſeau eſt dans la premiere ſituation, il ſingle ſur la route C*c*, & en paſſant de C en *c* il fait perdre au vent la partie de vîteſſe CF retranchée par *c*F, qui eſt parallele à la voile DE & qui marque ſa ſituation lorſque le navire eſt parvenu en *c*. La voile eſt donc frappée avec le

surplus FG de la vîtesse du vent. Dans la seconde disposition, la route est C*x* : mais le vaisseau en passant de C en *x* fait perdre au vent précisément la même partie de vîtesse CF, par rapport à la voile. C'est par cette raison que la vîtesse du sillage ne dépend que du sinus de l'angle vrai d'incidence, sans que la diversité de cet angle apporte d'autre différence. Les vîtesses C*c* & C*x* étant proportionnelles aux sinus des angles d'incidence VCE & VC*e*, elles le sont également aux sinus des angles CF*c* & CF*x* qui leur sont égaux : mais aussi-tôt qu'il y a même rapport du sinus de l'angle CF*c* à C*c* dans le triangle CF*c*, que du sinus de l'angle CF*x* à C*x* dans le triangle CF*x*; & que les angles en *c* & en *x* sont égaux, puisque la voile fait toujours le même angle avec la route, le côté CF doit être exactement le même dans les deux triangles.

Fig. 86.

Ainsi lorsqu'on change la situation entiere du vaisseau par rapport au vent, pourvu qu'on laisse aux voiles la même disposition par rapport au navire, la vîtesse respective du vent par rapport à la voile ne souffre aucun changement, & dans ce cas les regles ordinaires de manœuvre ne doivent donc pas être troublées. Supposé que le sinus de l'angle vrai d'incidence du vent, soit deux ou trois fois plus grand, le navire singlera deux ou trois fois plus vîte. Car si la résistance qu'éprouve la proue de la part de l'eau, est ensuite quatre fois ou neuf fois plus grande, ou si elle est comme le quarré de la vîtesse du sillage, l'impulsion du vent sur la voile, qui est la cause du mouvement & qui est proportionnelle au seul quarré du sinus de l'angle d'incidence, puisque la vîtesse respective FG est ici toujours la même, sera aussi quatre fois ou neuf fois plus forte. Mais la proportion ne subsiste pas, nous le repetons, entre les vîtesses du navire & les sinus des angles d'incidence apparens : parce que l'impulsion ne dépend pas moins des vîtesses apparentes du vent *c*G & *x*G que de ces sinus, & que la vîtesse apparente du vent est sujette à changer par le changement de la route.

VI.

Il ne nous reſte plus, pour épuiſer les remarques qui ſe preſentent ſur les vîteſſes du navire, qu'à expliquer comment il ſe peut faire que le ſillage ſoit plus rapide lorſqu'on reçoit un peu le vent de côté, que lorſqu'on ſingle exactement vent en poupe. Tous les Marins penſent unanimement, de même que les Mathématiciens qui ont examiné ce ſujet, que cette propriété ne tire ſon origine que de ce qu'en prenant un peu le vent de côté, toutes les voiles deviennent utiles, & que celles de l'avant qui étoient auparavant couvertes par celles de l'arriere, commencent auſſi à avoir part à l'impulſion. Mais il eſt encore une autre cauſe qui quoique plus cachée & très-ſecrette, n'eſt pas moins réelle, & qui malgré ce qu'on s'imagine généralement, peut faire jouir le Navire de la même proprieté, quoiqu'il n'ait qu'un ſeul mât & qu'une ſeule voile, comme nous le ſuppoſons toujours dans cette ſection. Si le vent dans tous les cas frappe la voile DE (Fig. 84.) perpendiculairement, l'expreſſion générale $\frac{ap\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$ des vîteſſes v du navire, ſe change en $\frac{an\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$, qui ſe réduit dans la route directe à $\frac{an\sqrt{E}}{n\sqrt{CQ} + n\sqrt{E}}$. Et il eſt facile de remarquer que quoique la premiere partie du dénominateur de cette derniere expreſſion devienne plus grande, en ſe changeant en $n\sqrt{CY}$, lorſque la route de directe devient oblique, il peut cependant arriver que le dénominateur entier diminue; parce que la ſeconde partie $n\sqrt{E}$ deviendra plus petite par le changement du ſinus total n en q, ou par la diminution de l'angle que fait la voile avec la route: changement qui doit produire d'autant plus d'effet qu'il ſe multiplie par la racine quarrée de l'étendue E de la voile, qu'on peut ſuppoſer auſſi grande qu'on veut. Or ſi le dénominateur entier diminue, il n'en faut pas davantage pour que la vîteſſe v devienne plus grande; elle croîtra dans le même rapport que le dénominateur aura diminué. En un mot, pour que la

Fig. 84.

la vîtesse $\frac{an\sqrt{E}}{n\sqrt{CY}+q\sqrt{E}}$ qu'a le navire BA dans la route oblique CH, soit plus grande que la vîtesse $\frac{an\sqrt{E}}{n\sqrt{CQ}+n\sqrt{E}}$ qu'il a dans la route directe, il suffit que $n\sqrt{CQ}+n\sqrt{E} > n\sqrt{CY}+q\sqrt{E}$, ou que $\sqrt{E} > \frac{n}{n-q} \times \overline{\sqrt{CY}-\sqrt{CQ}}$.

La possibilité de ce paradoxe se trouve de cette sorte suffisamment établie ; il ne reste qu'à en donner la raison physique. Lorsque le navire single vent en poupe, & qu'il fait beaucoup de chemin, toute sa vîtesse est absolument à retrancher de celle du vent ; la voile est donc choquée avec moins de force. Lorsque le navire suit au contraire une route un peu oblique, il peut aller aussi vîte & même beaucoup plus vîte, & que néanmoins son mouvement ne retranche pas une si grande partie de la vîtesse absolue du vent ; ce qui fera que la voile recevra une plus grande impulsion. Si, sans changer la disposition du vaisseau BA par rapport à la direction VG du vent, dans la Fig. 86, on rend la voile exactement perpendiculaire à cette direction, la ligne *c*F deviendra aussi perpendiculaire à GV, & alors la partie CF de la vîtesse absolue CG du vent, que le mouvement du sillage rendra inutile, sera beaucoup plus petite que la vîtesse même C*c* du navire : au lieu que si la route C*c* tomboit exactement sur la direction même CG, toute la vîtesse C*c* seroit à rabatre de celle du vent, & feroit par conséquent diminuer davantage la vîtesse relative FG avec laquelle la voile est frappée. Toutes ces différences deviendront insensibles, lorsque la vîtesse respective FG du vent sera trop grande par rapport à elles : mais elles se manifesteront ou produiront des effets marqués, aussi-tôt que cette vîtesse sera assez petite pour pouvoir en être considérablement alterée. C'est par cette raison qu'il suffit toujours, pour qu'un navire single plus vîte dans les routes un peu obliques que dans la directe, de faire ensorte, en augmentant l'étendue de sa voile, qu'il single beaucoup plus vîte dans l'une & dans les autres, ou qu'il single plus vîte dans toutes.

Fig. 86.

VII.

Fig. 84. Nous pouvons pousser le paradoxe encore plus loin, en y joignant une autre particularité incomparablement plus étonnante. Nous pouvons montrer, en attendant que nous donnions les moyens d'effectuer la chose, que certains navires peuvent aller dans quelques rencontres plus vîte que le vent même. Le vent, lorsqu'il commence à nous incommoder par sa force, fait 24 ou 25 pieds par seconde & parcourt 5 à 6 lieues par heure : mais il n'est pas impossible que le navire qui en est poussé fasse alors ce chemin & même plus, quoique par la seule action de ses voiles. S'il est question de déterminer la direction de sa route & la disposition de sa voile qui rendent sa vîtesse v la plus grande qu'il est possible, il est évident, lorsqu'on jette les yeux sur la formule $v = \frac{ap\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$ ou sur son équivalente $v = \frac{ap\sqrt{CQ}}{\overline{k-1} \times n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}}$, qu'il faut d'abord augmenter le sinus d'incidence p du vent sur la voile, jusqu'à le rendre égal au sinus total. Ainsi, quoique la voile soit située obliquement par rapport à la quille, il n'y aura toujours, comme nous l'avons supposé dans l'article précédent, qu'à disposer le navire de maniere que sa voile soit frappée perpendiculairement par le vent, pour procurer au sillage la plus grande rapidité, autant qu'elle dépend de ce chef; ce qui nous donnera $v = \frac{an\sqrt{E}}{n\sqrt{CY} + q\sqrt{E}}$ ou $v = \frac{an\sqrt{CQ}}{\overline{k-1} \times n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}}$. On voit en second lieu, que si l'étendue E des voiles étoit infinie, le premier terme $n\sqrt{CY}$ du dénominateur de l'expression de la vîtesse v, deviendroit comme nul; ce qui réduiroit cette expression à $v = \frac{an}{q}$: nouvelle formule qui nous apprendroit, si nous ne le sçavions déja, que le navire iroit alors aussi vîte que le vent dans la route directe. Mais ce qu'il ne faut pas manquer de considerer, c'est que la vîtesse v du sillage augmenteroit encore & devien-

droit par conſéquent plus grande que celle a du vent, ſi on laiſſoit toujours la voile dans une ſituation perpendiculaire au vent, & qu'on fit embraſſer au navire une route oblique : car q ſe trouvant moindre que n, la valeur $\frac{na}{q}$ de la vîteſſe du ſillage ſe trouveroit plus grande que a.

Fig. 84.

La ſingularité que nous annonçons n'eſt pas attachée au ſeul cas dans lequel l'étendue de la voile eſt infinie. Car lorſque le ſinus eſt moindre que le ſinus total, il ſe peut faire que le premier terme $n\sqrt{CY}$, ou $\overline{k-1} \times n\sqrt{CY}$ du dénominateur de la valeur v, ne ſupplée qu'à peine, ou ne ſupplée pas à ce qui manque au ſecond terme, pour qu'il ſoit égal au facteur $n\sqrt{E}$ ou $n\sqrt{CQ}$ du numérateur, & dans ce dernier cas v ſera néceſſairement plus grande que a. Il ſuffit toujours pour cela dans notre formule $v = \frac{an\sqrt{CQ}}{\overline{k-1} \times n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}}$, que k ne ſurpaſſe que très-peu l'unité, ou que le navire prenne preſque toute la vîteſſe du vent dans la route directe : car le terme $\overline{k-1} \times n\sqrt{CY}$ ſera très-petit, & il n'empêchera pas que $\overline{k-1} \times n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}$ ne ſoit moindre que $n\sqrt{CQ}$. En un mot, pour que le navire avance dans pluſieurs routes obliques avec plus de vîteſſe que n'en a le vent même, il ſuffit que $\overline{k-1} \times n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ} < n\sqrt{CQ}$, ou que $\overline{k-1} \times n\sqrt{CY} < \overline{n-q}\sqrt{CQ}$; & on aura la premiere & la derniere de toutes ces routes, en faiſant $\overline{k-1} \times n\sqrt{CY} = \overline{n-q}\sqrt{CQ}$. Il ſera enfin très-facile de déterminer pour chaque navire l'obliquité qui procure la plus grande de toutes ces vîteſſes déja ſi grandes ; puiſqu'il ne s'agira que de faire un *minimum* de la quantité $\overline{k-1}\, n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}$, qui ne renferme que deux variables CY & q dont nous avons la relation.

Nous avons marqué d'avance la raiſon de ce paradoxe, lorſque nous avons parlé du premier dont celui-ci n'eſt qu'une extenſion. Le navire, quoiqu'il marche réellement plus vîte que le vent, en eſt cependant encore atteint & frappé;

parce qu'il ne ſuit pas la même direction, & qu'il n'évite le choc que par une partie de ſa vîteſſe. C'eſt ce qu'on verra d'une maniere ſenſible en jettant les yeux ſur la Figure 85, dans laquelle la direction du vent eſt repréſentée par VG, & ſa vîteſſe par CG; pendant que CH repréſente la route du navire, & Cc ſa vîteſſe. Cette derniere vîteſſe eſt plus grande que la premiere, mais l'obliquité de la route Cc eſt cauſe que le mouvement du ſillage ne rend inutile que la ſeule partie CF de la vîteſſe du vent, & qu'il reſte encore la partie FG avec laquelle ſe fait l'impulſion. Ainſi il ſuffit de donner aſſez d'étendue à la voile, afin de recompenſer en même tems le peu de vîteſſe relative avec laquelle elle eſt frappée, & le peu de denſité de l'air, pour qu'elle puiſſe entretenir la vîteſſe Cc du ſillage. Si le navire embraſſoit une direction trop oblique, de même que s'il en prenoit une trop approchante de la directe; au lieu de parvenir en dehors du cercle GQ dont C eſt le centre, il ſe rendroit ſeulement en quelque point de ſa circonférence; ſa vîteſſe ſeroit alors ſimplement égale à celle du vent: ce ſeroient donc là les deux limites dont nous avons parlé, & que nous ſommes en état de déterminer, entre leſquelles ſont renfermées toutes les routes comme Cc, qui donnent lieu au paradoxe. Nous ne croyons pas qu'il ſoit néceſſaire de pouſſer cette explication plus loin; mais nous montrerons dans la ſuite, ainſi que nous nous y ſommes engagés, comment on peut faire enſorte, par des moyens qui ne ſont pas abſolument impraticables, que les navires jouiſſent effectivement de cette proprieté extraordinaire*. Il eſt toujours utile de s'occuper de pareilles recherches, quoiqu'on ne ſe propoſe pas d'aller réellement dans la pratique juſqu'au terme qui en eſt l'objet, & qu'on ſoit même réſolu de s'arrêter beaucoup en deçà.

Fig. 85.

* Voyez le chap. 8 de la quatrieme ſection, art. 3.

CHAPITRE VI.

De la construction des tables des vîtesses.

I.

ENfin, si on veut construire une table des vîtesses du navire, le calcul dans lequel il faudra s'engager pour cela lorsqu'on se servira de la formule $v = \frac{ap\sqrt{CQ}}{\overline{k-1} \times n\sqrt{CY} + \sqrt{CQ}}$, ne sera jamais difficile. Nous nous sommes contentés de chercher ici ces vîtesses pour trois diverses dispositions de voile par rapport au navire; parce que nous nous proposons simplement de montrer la forme que nous souhaiterions qu'eussent ces nouvelles tables.

La premiere colonne marqueroit l'angle de la voile avec la quille, l'angle ECA (Fig. 86): & la seconde, l'angle de la dérive, ou l'obliquité de la route ACc. On a ensuite supposé pour chaque de ces dispositions, divers angles d'incidence VCE du vent sur la voile, & on les a marqués dans la troisieme colonne. Dans la quatrieme on a mis les angles VCc de la direction réelle du vent avec la route, lesquels sont toujours formés, comme il est évident, de la somme des trois précédens; la cinquieme colonne marque la vîtesse du navire à proportion de celle du vent, qu'on a représentée par 300. Enfin les deux dernieres colonnes indiquent les angles apparens du vent avec la voile & avec la route. On a trouvé ces angles en résolvant le triangle CGc par le moyen d'une figure, & en retranchant l'angle G que fait la direction apparente cG du vent avec la direction réelle CG, des angles vrais marqués dans la troisieme & la quatrieme colonne. De toutes ces quantités il n'y a que la premiere des vîtesses pour chaque route, qui engage à une opération un peu longue; nous venons de voir que toutes

Fig. 86.

les autres diminuent comme les sinus des angles d'incidence vrais du vent sur la voile. Il est vrai que la chose ira un peu autrement, si le navire a plusieurs mâts & plusieurs voiles ; parce qu'il faudra faire attention à l'étendue de la nouvelle partie des voiles de la proue qui sera sujette à l'impulsion, lorsqu'on rendra l'angle d'incidence plus petit. On peut continuer cette table ; mais après cela il sera à propos d'en calculer au moins deux autres pour les vaisseaux qui, au lieu de recevoir le tiers de la vîtesse du vent, comme on l'a supposé ici, en reçoivent quelque autre partie. Il faut remarquer que presque tous les calculs qui serviront à la construction d'une de ces tables, serviront aussi aux autres, puisqu'il n'y aura que la seule quantité k qui sera differente. Mais enfin il est fâcheux que ce ne soit point encore assez : il faudroit se résoudre à former encore d'autres tables semblables à ces premieres, au moins pour trois ou quatre figures de proues differentes ; c'est-à-dire pour celles qui sont sujettes à differentes dérives, quoique les voiles soient orientées de la même maniere. L'opération se réduiroit à supposer le sommet Q de la parabole SQR (Fig. 84) en trois ou quatre points differens de C&; ou à attribuer trois ou quatre grandeurs differentes au petit axe *Q&* de l'ellipse VQ*v&*.

Fig. 84.

Angles de la voile avec la quille.	Angles de la dérive.	Angles d'incidence réels du vent sur la voile.	Angles réels du vent avec la route.	Vitesses du Navire.	Angles d'incidence apparens du vent sur la voile.	Angles apparens du vent avec la voile.
D.	D. M.	D.	D. M.		D.	D.
90	0 0	90	180	100	90	180
		80	170	98	75	165
		70	160	94	71	152
		60	150	87	49	139
		50	140	77	38	128
		40	130	64	29	119
		30	120	50	21	111
		20	110	34	14	104
		10	100	17	7	97
80	1 12	90	171 12	100	86	167
		80	161 12	98	71	152
		70	151 12	94	58	140
		60	141 12	87	47	128
		50	131 12	77	37	118
		40	121 12	64	29	110
		30	111 12	50	21	102
		20	101 12	34	14	95
		10	91 12	17	7	88
75	1 51	90	166 51	99	80	160
		80	156 51	97	70	147
		70	146 51	93	57	134
		60	136 51	86	46	123
		50	126 51	76	36	113
		40	116 51	63	28	105
		30	106 51	50	20	97
		20	96 51	34	13	90
		10	86 51	17	6	83

II.

On déduira de la nature même de l'ellipse, si on le veut, la valeur des lignes CQ & CY ; mais notre formule $v =$

Fig. 84. $\frac{ap\sqrt{CQ}}{\overline{k-1} \times n\sqrt{CY} + q\sqrt{QC}}$ aura également son application lorsqu'on cherchera immédiatement sur la proue même, par les moyens géometriques ou méchaniques que nous avons proposés dans la section précedente, les impulsions auxquelles elle est sujette par la rencontre de l'eau. Il suffira de se souvenir que CQ représente toujours l'impulsion directe, lorsque le navire se meut précisement dans le sens de son axe, & CY l'impulsion absolue horisontale qu'il souffre dans chaque route oblique CH ; & cela lorsque sa vîtesse est toujours la même : car les lignes CQ & CY ne représentent les impulsions qu'autant qu'elles dépendent de la surface de la carene ; conformément à ce qu'on a vu dans le premier article du chapitre précedent. On cherchera, si on le veut, ces impulsions par la méthode du chapitre VI. de la section citée : la premiere CQ trouvée une fois par l'art. I. servira dans tous les calculs ; il n'y aura que la seconde CY sujette à changer par l'obliquité des routes ; & comme elle résulte de la composition des impulsions relatives directe & latérale, qu'on trouvera par l'art. II. du même chapitre, il n'y aura qu'à résoudre le triangle rectangle dont elle sera l'hypothenuse & dont les deux impulsions relatives seront les côtés. Il me semble que c'est la façon la plus simple de calculer CY, lorsqu'il s'agira de recherches particulieres, & non pas de solutions générales. Il ne restera plus après cela, pour déterminer toutes les vîtesses v du navire, qu'à faire entrer ces valeurs de CQ & de CY dans la formule ; en même tems qu'on y introduira à la place de a la vîtesse absolue du vent, à la place de k le nombre qui exprime combien de fois cette vîtesse est plus grande que celle du navire dans la route directe ; & à la place de n, de p & de q, le sinus total, le sinus de l'angle d'incidence du vent sur la voile, & le sinus de l'angle que fait la voile avec la route, c'est-à-dire le sinus de l'angle ECH.

III.

Comme je ne doute pas qu'on ne puisse souvent regarder les navires qu'on construit de notre tems, comme si leur proue étoit formée de deux arcs de cercle, on peut avec facilité tirer parti du travail de M. Pitot, qui s'est donné la peine de calculer les impulsions que souffrent divers segmens de cercles joints par leur corde, & qui en a dressé des Tables dans son *Traité de la Manœuvre des Vaisseaux*. * Il est vrai que cet Académicien n'a pas inseré les impulsions des vaisseaux qu'il a trouvées, au moins celles qui naissent de la derniere composition des primitives; mais ce qui revient au même, il a marqué toutes les vîtesses que recevroit le navire en suivant différentes routes, dans la supposition que le vent, malgré la rapidité du sillage, frappât toujours la voile précisément avec la même force; & on sçait que ces vîtesses sont en raison inverse des racines quarrées des impulsions que nous avons actuellement intérêt de connoître. Car si le navire dans une certaine route, par exemple, présente 4 fois ou 9 fois moins de surface au choc de l'eau, ou une surface qui, parce qu'elle est moins grande ou plus différente de la plane, reçoit à cause des seules circonstances qui lui sont propres, 4 fois ou 9 fois moins de choc, il est évident à tous les lecteurs qui se sont mis ou fait des principes expliqués ci-devant, qu'il suffira que le navire single 2 ou 3 fois plus vîte pour faire une parfaite compensation, ou pour que l'impulsion actuelle de l'eau soit toujours égale à celle du vent, supposé constante. On peut donc consulter les tables de M. Pitot, savoir la quatrieme, la cinquieme, la sixieme, &c. jusqu'à la douzieme inclusivement, qui sont précisément celles que demandoit M. Bernoulli; & on obtiendra tout d'un coup les valeurs de CQ & de CY, en divisant l'unité ou quelqu'autre grandeur constante par les quarrés des vîtesses indiquées dans ces tables.

Fig. 84.

* Imprimé à Paris chez Jombert.

Je prends pour exemple un navire dont la proue est formée par deux arcs de cercle, qui font en se rencontrant un

Fig. 84. angle curviligne de 60 degrés : cette figure appartiendra à la douzieme table dans laquelle la vîtesse pour la route directe est marquée, de même que dans les autres tables, par 1000, ce qui donne $\frac{1}{1000000}$ pour CQ, ou $\frac{1}{1000}$ pour $\sqrt{CQ}$. Je suppose de plus que la grandeur des voiles est telle que le navire dans la route directe prenne le tiers de la vîtesse absolue du vent, ce qui rend $k = 3$. Si on nous propose après cela de découvrir la vîtesse avec laquelle doit singler ce navire, lorsque sa voile fait avec sa quille un angle de 59 degrés 31′. & que l'angle réel d'incidence du vent soit de 40 degrés, je cherche dans la table vis-à-vis de 59 degrés 31′ & je trouve la vîtesse 923. Ainsi j'ai $CY = \frac{1}{923 \times 923}$ où $\sqrt{CY} = \frac{1}{923}$; & la même table m'apprend que l'angle de la dérive est de 2 degrés 30′, & l'angle par conséquent que forme la voile avec la route de 62 degrés 1′. De sorte que prenant 100000 pour le sinus total (n,) j'ai 88308 pour le sinus q, en même tems que j'ai 64279, pour le sinus p de l'incidence du vent sur la voile. Or l'introduction de tous ces nombres dans notre formule $v = \frac{ap\sqrt{CQ}}{\overline{k-1} \times n\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}}$, la changera en $v = a \times \frac{64279}{304992}$ qui satisfait à la question, en nous indiquant le rapport qu'a la vîtesse (v) du navire dans la route proposée avec la vîtesse absolue (a) du vent. Si cette derniere vîtesse est représentée par 3000, on trouvera 632 pour celle du navire : & rien n'empêche, en suivant la même méthode, de résoudre assez d'autres cas pour pouvoir en dresser une table complette.

Il ne faudra pas se contenter de supposer que la vîtesse du navire est le tiers de celle du vent dans la route directe, il faudra faire varier ce rapport ainsi que nous en avons expressément averti, afin d'embrasser les vaisseaux dont la mâture a des dimensions différentes. Si on suppose que le navire dont l'angle curviligne de la proue est toujours de 60 degrés, a des voiles assez étendues pour que la vîtesse qu'il reçoit lorsqu'il single exactement vent en poupe, soit la moitié de celle du vent ; & si on demande celle qu'il doit prendre, lorsque sa voile fait avec la quille un angle

de 54 degrés 38′, & que l'angle réel d'incidence du vent sur cette voile eſt droit, on trouvera d'abord dans les tables de M. Pitot que l'angle de la dérive eſt de 3 degrés, & par conſéquent l'angle de la voile & de la route de 57 degrés 38′, & que la vîteſſe pour le cas dans lequel cet Auteur l'a cherché, eſt de 900, à proportion de 1000 qui exprime celle de la route directe. Ainſi on aura dans cet exemple $\sqrt{CQ} = \frac{1}{1000}$; $\sqrt{CY} = \frac{1}{900}$; $n = p =$ [illegible]00000; $q = 84463$; $k = 2$, & enfin $v = a \times \frac{100000}{195174}$; de ſorte que le navire prendra dans cette diſpoſition plus de la moitié de la vîteſſe du vent, & plus de vîteſſe que lorſqu'il ſingle vent en poupe. Ce ſera donc là un des cas du paradoxe dont nous avons parlé dans l'art IV. du chapitre précédent: ſuppoſant la vîteſſe abſolue (a) du vent de 3000, il viendra 1533 pour celle du navire, aulieu qu'elle n'eſt que de 1500 dans la route directe. On peut dans le calcul, ſans ſe conformer ſervilement à notre formule, ſuivre les veſtiges du chemin qui nous y a conduit, & imaginer differens abregés qui diminueront encore la longueur de l'opération, quoiqu'on n'ait point à ſe plaindre de ſa prolixité. On obtiendra par ce moyen des tables qui ſeront parfaitement exactes, & dont on ne devra la facilité de la conſtruction à aucune négligence des circonſtances eſſentielles.

Fig. 24.

CHAPITRE VII.

De la diſpoſition la plus avantageuſe des voiles & du vaiſſeau par rapport au vent, pour ſuivre une route propoſée, pour gagner au vent, &c.

I.

CEs tables ſeroient d'un grand uſage; elles ſerviroient principalement à réſoudre ſur le champ les problêmes de manœuvre, ſans qu'on ſe trouvât dans la

néceſſité d'examiner la figure particuliere de chaque navire. Un de ces problêmes & un des plus importans, eſt de découvrir la diſpoſition la plus avantageuſe des voiles & du vaiſſeau par rapport au vent pour faire une route propoſée : ce problême ſeroit tout réſolu par les tables. Suppoſé qu'il fût queſtion de ſuivre une route qui fît un angle de 50 degrés avec la direction du vent, il n'y auroit qu'à voir en cherchant ce nombre dans la quatrieme colonne, la diſpoſition des voiles & du vaiſſeau qui procureroit au ſillage la plus grande vîteſſe poſſible. Si on faiſoit la même choſe pour toutes les autres routes de degré en degré, ou de cinq en cinq, on pourroit former une nouvelle table deſtinée ſeulement à marquer les réſultats ou la diſpoſition la plus avantageuſe, pour ſuivre chaque route.

II.

Un ſecond problêmes qui n'eſt pas moins important, c'eſt de déterminer la diſpoſition des voiles & du vaiſſeau la plus convenable, pour *gagner* au vent : on le pourroit auſſi réſoudre par les tables.

Il eſt vrai que ce ſecond problême eſt plus difficile que le premier : il eſt de ceux qui appartiennent aux queſtions *de maximis maximorum*. Il s'agit lorſque le vaiſſeau eſt en C (Fig. 83.) de le diſpoſer tellement par rapport au vent, de même que ſa voile DE, qu'il s'éloigne le plus qu'il eſt poſſible de la perpendiculaire MN à la direction VG du vent. Il n'eſt pas queſtion de rendre l'angle VC*c* des deux directions VC & C*c*, le moindre qu'il eſt poſſible : car le vent frappant les voiles plus obliquement, & outre cela une moindre partie de l'impulſion s'exerçant ſelon la route, le vaiſſeau ſingleroit moins vîte, & s'éloigneroit peut-être d'une moindre quantité de la ligne MN ; & on doit bien remarquer qu'on ne gagne au vent qu'autant qu'on s'éloigne de cette perpendiculaire, ou qu'on avance vers l'origine même du vent. L'autre problême où il s'agit de rendre l'angle de la voile & de la route le moindre qu'il

Fig. 83.

se peut, mérite aussi d'être examiné par les Auteurs qui traitent de la manœuvre. Ce n'est qu'en se conformant à la disposition qu'il fournit, qu'on réussit souvent à *doubler* un cap ou à éviter un écueil : car il faut quelquefois *pincer le vent* le plus qu'il est possible, ou rendre l'angle ECc de la route & de la voile le plus petit qu'il se peut, afin de faire diminuer l'angle total VCc du vent & de la route, lorsqu'il s'agit de passer dans un canal étroit, sans qu'il importe avec quelle vîtesse on single. On n'a calculé dans la table du chapitre IV. les angles de dérive que jusqu'à cette disposition, ce qui peut tenir lieu d'une solution plus exacte, qu'il n'est pas d'ailleurs difficile d'obtenir, puisque le problême n'est réellement que du second degré.

Fig. 83.

III.

On dirigera de cette sorte la route le plus vers le vent qu'il se pourra. Mais cependant on ne *gagnera* pas au vent le plus qu'il sera possible ; parce qu'en suivant, lorsque la chose sera permise, une route Cc un peu plus éloignée de la direction VC, on singlera plus vîte, & cet accès de vîtesse réparant ce que la direction de la route fait perdre, il se trouvera que tout compté, la quantité Pc dont le navire avancera vers l'origine du vent, sera plus grande. C'est par cette seconde disposition qu'on dispute l'avantage du vent à un ennemi, ou qu'on chicane, pour ainsi dire, contre le vent même, lorsqu'il est absolument contraire à la route qu'on se proposoit de faire, & qu'on est en pleine mer. On veut aller exactement vers le midi ; mais malheureusement le vent vient précisément de ce côté : il faut donc en présentant la proue vers cet endroit de l'horison la diriger tantôt vers l'orient & tantôt vers l'occident : il faut marcher en *zigzags*, ou *louvoyer* comme parlent les marins, & suivre de chaque côté, je le repete encore, non pas la route Cc, qui fait le plus grand angle cCN avec la perpendiculaire CN au lit du vent, mais la route qui fait que le navire s'éloigne de cette perpendiculaire de la plus grande

Fig. 83. quantité P*c*. On considere le vent comme un large fleuve dont toutes les parties se meuvent précisément dans le même sens, & avec la même vîtesse; & on veut, en se servant de sa propre force, remonter contre son cours le plus qu'il est possible.

Entre les différentes manieres de décomposer la difficulté, afin de résoudre à part chaque question *de maximis* dans lesquelles elle se partage, tous nos Auteurs de manœuvre se sont accordés à considerer que la situation du vaisseau étant donnée par rapport à la direction du vent, il y a une certaine disposition de voile qui est préférable; & que pour chaque disposition de voile il y a aussi une certaine situation du vaisseau qui est plus avantageuse. Mais lorsqu'on entreprend de résoudre le problême selon cette distribution, on est obligé de se livrer à un double tâtonnement; puisqu'il y a une infinité de diverses dispositions de voiles; & que pour chacune il y a une infinité de diverses situations du vaisseau. Si pour éviter la prolixité d'un travail si pénible, on vouloit d'un autre côté négliger la dérive, les déterminations auxquelles on parviendroit, ne seroient pas plus exactes le plus souvent, comme on le verra plus bas, que si on prenoit au hazard les premieres dispositions qui se présentent. C'est ce que l'intérêt de la vérité, qu'il n'est pas permis de trahir dans une matiere si importante, me force de dire; & je le puis faire avec d'autant plus de liberté, que je connois toute la candeur des mathématiciens qui pourroient en être blessés. Mais il y a une autre maniere de partager la question qui, ôtant la moitié du tâtonnement, leve aussi la moitié de la difficulté, & qui nous mettroit outre cela en état de résoudre le problême d'une maniere directe, universelle & parfaitement géometrique, si nous croyions pouvoir en rendre la solution assez simple pour l'accommoder aux usages de la pratique.

Au lieu de considerer que pour chaque disposition du vaisseau par rapport au vent, il y a une disposition plus avantageuse de voile, & que pour chaque disposition de voile

par rapport au vent, il y a auſſi une certaine ſituation du vaiſſeau qui eſt préférable; nous n'avons qu'à ſuppoſer d'abord que la voile eſt ſtable par rapport au navire, & chercher la diſpoſition la plus avantageuſe qu'on peut donner à l'un & à l'autre par rapport au vent; & après cela nous conſidererons la voile dans diverſes ſituations par rapport au navire, & nous examinerons qu'elle eſt la meilleure. La premiere partie du problême ſe réſoudra fort aiſément; on trouvera la diſpoſition dont il s'agit par cette regle très-ſimple que nous démontrerons ci-après; que la voile doit toujours être autant éloignée de la direction du vent, que la route eſt éloignée de la perpendiculaire au vent, ou de la ligne, quelle qu'elle ſoit, dont on veut s'écarter. C'eſt-à-dire que quelque ſoit l'angle que fait la voile avec la quille, *il faut toujours, pour que le vaiſſeau avec la diſpoſition actuelle de ſa voilure gagne au vent le plus qu'il eſt poſſible, que l'angle réel d'incidence* VCE (Fig. 83.) *que fait le vent avec la voile, ſoit égal à l'angle* cCP *que fait la route avec la ligne* CN *dont il eſt queſtion de s'éloigner.*

Fig. 83.

Ainſi le tâtonnement ne peut plus tomber que ſur le ſeul angle que doit former la voile avec la quille. Si cet angle eſt de 40 degrés, & que l'angle correſpondant de la dérive ſoit de 9, l'angle total EC*c* de la voile & de la route ſera de 49; & ſi on ôte cet angle de l'angle VCP qui eſt de 90 degrés, & qu'on prenne la moitié du reſte, on aura $20\frac{1}{2}$ degrés pour chacun des angles VCE & *c*CP, conformément à la regle que nous venons de rapporter. Or ſi on cherche dans la table du chapitre précédent la vîteſſe C*c* du navire, & qu'on détermine P*c* en réſolvant le triangle rectangle *c*CP dont on connoîtra l'hypothenuſe & l'angle PC*c* de $20\frac{1}{2}$ degrés, on aura la quantité dont le navire aura gagné au vent. Il n'y aura qu'à faire la même choſe pour un certain nombre d'autres diſpoſitions de la voile par rapport à la quille, & à l'aide de trois ou quatre tentatives, on ſçaura ordinairement laquelle des diſpoſitions eſt préférable, ou celle qui fait faire au vaiſſeau le plus de progrès P*c* dans le ſens directement contraire au lit du

Fig. 83. vent. Comme nous n'avons pas poussé assez loin la table du chapitre précédent, nous allons éclaircir ce que nous venons de dire par un exemple pris dans les tables de M. Pitot, à la constitution desquelles nous nous conformerons, en supposant que la vîtesse du vent est comme infinie par rapport à celle du vaisseau.

Nous choisirons la table XII, qui exprime les circonstances du mouvement d'un navire qui seroit formé par deux segmens de cercle chacun de 60 degrés. Si nous supposons que l'angle de la dérive, ou l'angle que fait la route avec la quille, est de 8 $\frac{1}{2}$ degrés, nous trouverons dans cette table que la voile doit faire avec la quille un angle de 28 degrés 41′. D'où il suit que la voile fait avec la route un angle ECc de 37 degrés 11′ que nous n'avons qu'à ôter de 90 degrés & prendre la moitié du reste, & il nous viendra 26 degrés 24 $\frac{1}{2}$′ pour l'angle d'incidence VCE & pour celui cCN que doit faire la route avec la ligne CN dont on veut s'éloigner le plus qu'il est possible. On trouve dans la même table 654 pour l'expression de la vîtesse : mais il faut remarquer que cette vîtesse est celle qui est produite par l'impulsion perpendiculaire du vent sur la voile, & quelle doit être ici diminuée dans le rapport que le sinus de l'angle d'incidence 26 degrés 24 $\frac{1}{2}$′, est plus petit que le sinus total. Ainsi elle n'est actuellement que de 291 ; & si en résolvant le triangle rectangle CPc dont l'angle C est de 26 degrés 24 $\frac{1}{2}$′, & l'hypothenuse Cc de 291 parties, on cherche le progrès Pc vers le vent ; on trouvera qu'il est d'environ 129 $\frac{1}{2}$: au lieu que si on suppose que l'angle de la dérive est de 8 ou de 9 degrés, & qu'on fasse la même opération, on trouvera que le progrès Pc est un peu moindre, & que la premiere disposition est par conséquent la plus avantageuse. Or il suit de-là que la voile doit faire avec la quille un angle de 28 degrés 41′, & avec le vent un de 26 degrés 24′ : au lieu qu'on trouve * le premier de ces angles d'environ 20 degrés, & le second d'environ 35, lorsqu'on néglige la dérive.

* Pag. 88. du Traité de la Manœuvre des Vaisseaux.

IV.

IV.

Il ne nous reste plus qu'à montrer la vérité de la regle que nous venons d'employer, laquelle pouvant servir également lorsqu'il s'agit de s'éloigner le plus qu'il est possible de toute ligne donnée, doit être d'usage dans plusieurs autres rencontres, & principalement lorsqu'on *donne chasse* à un vaisseau qu'on veut atteindre. J'ai montré dans les Mémoires de l'Académie des Sciences *, en parlant des lignes que j'ai nommées *courbes de poursuite*, combien on perdoit de tems & combien on s'exposoit à manquer sa proye, lorsqu'au lieu de tâcher de lui couper le chemin, on s'arrêtoit à diriger toujours sa route sur elle, & à décrire une ligne courbe. Si le vaisseau AB (Fig. 87.) veut atteindre infailliblement le vaisseau FG qui fait la route KO, il faut qu'il suive une ligne CN avec une vîtesse qui soit telle qu'il parvienne en L & en N sur les paralleles LM & NO à la premiere ligne CK, précisément en même tems que l'autre vaisseau parvient sur ces mêmes paralleles en M & en O; c'est-à-dire, qu'il faut, malgré le mouvement des deux navires, que l'un reste toujours au même rumb de vent par rapport a l'autre. S'ils vont ensuite en s'approchant, ils se rencontreront infailliblement, parce qu'ils se trouveront en même tems à l'intersection Q de leurs deux routes. Mais si le vaisseau AB, lorsqu'il est dans la disposition même qui peut l'éloigner le plus de la ligne CK, reste de l'arriere par rapport à l'autre navire, il sera inutile, comme on le voit évidemment, qu'il continue sa poursuite. Or il s'agit de démontrer qu'une des conditions de cette disposition la plus avantageuse (dont il n'est pas néanmoins toujours nécessaire de se servir, parce qu'au lieu de rencontrer le vaisseau qu'on poursuit, on passeroit quelquefois au-devant de lui) est que l'angle d'incidence réel VCE du vent sur la voile, soit égal à l'angle LCK que fait la route avec la ligne CK, dont on veut s'éloigner. Lorsqu'il s'agit *de gagner au vent*, on se propose de s'éloigner d'une ligne qui est perpendiculaire au lit du vent; au lieu que lorsqu'on

* Année 1732.

Fig. 87.

veut atteindre un autre vaisseau & qu'on ne peut le faire qu'à peine, il s'agit de s'éloigner de la ligne CK qui joint les deux points d'où partent les navires. Mais la regle est générale & applicable à tous les cas, comme on va le voir.

Fig. 86. Aussi-tôt que l'angle ECA ou *e*C*a* (Fig. 86.) de la voile & de la quille est donné, l'angle de la dérive est le même; la route fait un angle constant EC*c*, ou *e*C*x*, avec la voile, & les vîtesses C*c* ou C*x* que prend le vaisseau dans les diverses situations où on le met par rapport au vent, sont proportionnelles, comme nous l'avons prouvé, aux sinus des différens angles d'incidence que fait le vent avec la voile : c'est-à-dire, que C*c* est à C*x* comme le sinus de l'angle VCE est au sinus de l'angle VC*e*. Mais puisque dans le triangle *c*C*x* les côtés C*c* & C*x*, qui sont supposés ne former qu'un angle infiniment petit, sont aussi proportionnels aux sinus des angles qui leur sont opposés en *x* & en *c*, & que la différence de ces deux angles, qui est l'angle *c*C*x*, est égale à la différence EC*e* des deux angles d'incidence, il s'ensuit que les angles en *c* & en *x* sont égaux aux angles d'incidence : car il faut nécessairement que deux angles soit égaux à deux autres angles, aussi-tôt qu'il y a entr'eux la même différence, & qu'outre cela il y a le même rapport entre leurs sinus. Ainsi en donnant différentes dispositions au vaisseau par rapport au vent, on lui fait suivre différentes routes, & on le fait parvenir en divers points *c*, *x*, &c. qui forment une courbe O*cx*P : nous ne nous arrêtons pas à montrer que cette courbe est un cercle; mais aussi-tôt que l'angle de la voile avec la quille est toujours le même, on voit que cette courbe, ou ce qui est la même chose, que la ligne infiniment petite *cx* qui joint les deux points *c* & *x* où le navire parvient, lorsqu'on lui donne deux dispositions qui ne different qu'infiniment peu l'une de l'autre, fait toujours avec la route C*c* un angle *c* égal à l'angle correspondant d'incidence du vent sur la voile. S'il s'agit donc de choisir la disposition qui fait que le vaisseau s'éloigne le plus qu'il est possible d'une ligne droite donnée CM, ou de le faire parvenir

dans l'endroit de la courbe OcxP, qui étant parallele à la ligne proposée, en est à la plus grande distance, il faut que l'angle cCM, que fait la route avec cette ligne, soit égal à l'angle d'incidence réel VCE du vent sur la voile; puisque le premier de ces angles doit être égal à l'angle Ccx, aussi-tôt que cx est parallele à CM, & que le second est toujours égal à ce même angle dans toutes les diverses dispositions du vaisseau. Notre regle servira non-seulement dans les circonstances que nous avons mentionnées; elle servira également lorsqu'on voudra *s'élever* d'une côte ou doubler un cap, &c.

CHAPITRE VIII.

Construction des problêmes proposés dans le Chapitre précédent.

I.

NOUS pouvons donner aussi une construction assez facile des deux problêmes précédens, à laquelle on aura recours lorsqu'on voudra éviter le procedé trop lent du calcul. Ayant tiré une ligne DE (Fig. 88.) pour représenter la voile; après avoir élevé une perpendiculaire CF pour représenter la direction de son effort, je tire plusieurs lignes, comme CH, pour marquer les diverses routes du navire, & je retranche sur ces lignes des espaces CG, qui désignent les vîtesses dans chaque route. L'angle GCE, que fait la route avec la voile, étant donné, le vaisseau peut avoir une infinité de différentes vîtesses, selon que le vent frappe les voiles plus ou moins obliquement; mais les espaces CG marquent seulement celles que prend ce vaisseau lorsque le vent frappe les voiles à angle droit: de sorte que CG est bien la valeur de v fournie par la formule $v = \frac{ap\sqrt{CQ}}{h - 1xn\sqrt{CY} + q\sqrt{CQ}}$; mais c'est lorsqu'on fait p, qui dé-

Fig. 88.

Fig. 88. ligne le ſinus de l'angle d'incidence du vent, égal au ſinus tot.l *n*. Enun mot les vîteſſes que nous employons ici ſont les premieres qui ſont marquées dans la table du chapitre VI pour chaque diſpoſition particuliere de voile. Les angles HCE de la route & de la voile, ou leur complement HCF, ſont pris de la figure 84, où ils ſont exprimés par les mêmes lettres, & les quantités CQ & CY qui entrent dans la formule des vîteſſes, ſont, comme on s'en ſouvient, fournies par la même figure, ou le feront par l'examen actuel qu'on fera de la proue. La courbe NFG, que nous conſidérons maintenant & qui paſſe par tous les points G, ſera géométrique; mais après tout, on peut faire entrer dans la détermination des vîteſſes CG toutes les conſidérations qu'on croira y avoir part: nous ne demandons rien autre choſe, ſi ce n'eſt que cette courbe qui pourra enſuite ſe trouver méchanique, ſoit tracée éxactement.

II.

La ſeule méthode légitime qu'on a propoſée juſques ici pour trouver la diſpoſition la plus avantageuſe des voiles, pour faire une route propoſée, exigeroit qu'on traçât une infinité d'autres courbes ſemblables à celle-ci; qu'on en formât une nouvelle qui paſſât par toutes les interſections ſucceſſives de ces premieres, ou qui en fût la continuelle oſculatrice, & qu'on ſçût tirer les tangentes à cette derniere courbe. Cette conſtruction a été donnée par un Mathématicien trop ſçavant pour ne pas être élegante: mais elle ſuppoſe néanmoins bien des choſes, au lieu que nous n'avons beſoin que de la ſeule courbe NFG. Je conſidere deux routes CG & Cg infiniment proches l'une de l'autre, & qui font avec les deux lignes VC & *v*C un angle égal à celui que fait la route propoſée avec la direction réelle du vent. Les deux lignes VC, *v*C répréſentent la diſpoſition du vent par rapport à la voile, lorſque le vaiſſeau ſuit ou CG ou Cg; les Géometres ſçavent que ſi le vaiſſeau marche avec la même vîteſſe, en ſuivant ces deux

différentes routes, ou ce qui revient au même, que si la différentielle de la vîtesse est nulle, c'est une marque que cette même vîtesse est à son terme de grandeur, qu'elle est un *maximum*, & qu'on a trouvé la disposition la plus avantageuse. Il est vrai que Cg est plus grande que CG; mais il faut remarquer que c'est parce que ces lignes, à cause de la construction particuliere de la courbe, expriment la vîtesse du navire pour une incidence toujours constante du vent sur la voile ; au lieu que si les angles d'incidence sont différens, les deux vîtesses pourront être ramenées à l'égalité.

Fig. 88.

C'est ce qui arrivera effectivement, si dans le triangle GCg les angles G & g sont égaux aux angles d'incidence correspondans VCE & *v*CE du vent de la voile. Car Cg & CG étant comme les sinus des angles opposés G & g, elles seront en raison inverse des sinus des angles réels d'incidence; & la vîtesse Cg, qui conserveroit sa grandeur si elle répondoit à un angle d'incidence également grand, deviendra égale à CG; parce que répondant à l'angle d'incidence *v*CE, elle doit diminuer dans le même rapport que le sinus de ce dernier angle est plus petit que celui de l'autre VCE. Ce ne feroit pas la même chose, si les deux routes, en se terminant en quelques autres points de la courbe, faisoient avec la courbe des angles plus grands ou plus petits que ceux d'incidence du vent sur la voile. Comme les lignes CG & Cg ne représentent toujours les vîtesses du sillage que pour une égale incidence du vent, il est vrai qu'il faudroit faire également une déduction à la seconde vîtesse Cg, puisqu'elle répondroit à une incidence plus petite. Mais la diminution se faisant dans le même rapport que le sinus d'un angle d'incidence est plus petit que l'autre, il est nécessaire que dans le triangle GCg, les angles G & g soient égaux à ces angles d'incidence; ou que les côtés Cg & CG soient en raison inverse des sinus de ces mêmes angles, pour que la vîtesse Cg, après la déduction faite, se trouve parfaitement égale à CG.

Ainsi le point G où se termine la route CG dans la dis-

Fig. 88. position la plus avantageuse, est marqué par cette proprieté distinctive, que l'angle G que fait la route avec la courbe NFG, est exactement egal à l'angle d'incidence VCE du vent sur la voile. Mais cela supposé, si on tire au point G une tangente CS à la courbe, l'angle extérieur GSR qu'elle fera avec le prolongement de la voile, sera égal à la somme des deux angles antérieurs G & SCG, & sera donc aussi égal à l'angle VCG de la route & de la direction du vent, qui est formé de l'angle SCG & de l'angle d'incidence VCE, égal à l'angle G. Nous avons par conséquent cette regle pour obtenir la disposition la plus avantageuse du vaisseau & de la voile, lorsqu'il s'agit de faire une route dont l'angle avec la direction du vent est donné. *Nous chercherons le point* G, *où tirant à la courbe* NFG *des vîtesses une tangente* GS, *elle fasse avec la voile prolongée* CR *un angle* GSR *égal à celui que forme le vent avec la route qu'on veut suivre; & conduisant au point* G *la droite* CG, *on aura la situation de la route par rapport à la voile, pendant que* VC, *qui fera avec* CG *l'angle donné, indiquera la vraie direction du vent.*

Le problême se trouve de cette sorte débarrassé de tout ce qu'il avoit de difficile, & réduit à une question simple de pure géométrie. Mais ce n'est pas ici le lieu d'en parler davantage; d'autant plus que nous croyons qu'il suffit dans la pratique de former avec une fausse équerre l'angle RSG égal à celui du vent & de la route proposée, & de faire glisser une des branches de cette fausse équerre le long de la ligne RC, jusqu'à ce que l'autre vienne toucher la courbe, & indique le point G qu'on vouloit découvrir.

III.

L'autre problême, dans lequel il s'agit de *gagner au vent* ou de s'éloigner le plus qu'il est possible d'une ligne droite donnée, ne sera pas plus difficile; il suffit pour le résoudre de faire usage des maximes déja établies. Nous supposons que Fig. 89. notre courbe des vîtesses NFG (Fig. 89.) est déja tracée,

& que VC repréſente la direction du vent, pendant que CG eſt la route, & CQ la ligne dont il s'agit de s'éloigner le plus promptement qu'il eſt poſſible, & qui fait avec VC un angle donné VCQ. Il faut d'abord que l'angle d'incidence VCE ſoit égal à l'angle GCQ que fait la route avec la ligne CQ dont il s'agit de s'écarter: c'eſt là une condition néceſſaire, comme nous l'avons vu dans le dernier article de l'autre chapitre. Mais pendant qu'elle eſt obſervée, il faut encore que le navire ſingle ſur CG avec la plus grande vîteſſe : car plus il ira vîte ſur CG, plus il s'éloignera de CQ, toutes les autres circonſtances étant les mêmes. Ainſi il faut, conformément à ce que nous venons de montrer dans l'article précédent, que la route CG faſſe en G avec la courbe NFG un angle PGg égal à l'angle d'incidence VCE. Mais puiſque l'angle d'incidence VCE eſt non-ſeulement égal à l'angle GCQ, qu'il l'eſt auſſi à l'angle PGg de la route & de la courbe, les deux derniers angles ſeront égaux entr'eux, & par conſéquent la courbe ſera parallele en G à la droite CQ dont il s'agit de s'éloigner.

Fig. 39.

Cela ſuppoſé, je fais l'angle QCO égal à l'angle QCG, ou à l'angle d'incidence VCE; ou ce qui revient au même, je tire la ligne CM de maniere qu'elle faſſe avec la voile un angle OCE égal à celui que fait avec la direction du vent la ligne dont on veut s'écarter. Si après cela on éleve au point G ou g une perpendiculaire GQ à la courbe, cette ligne ſera auſſi perpendiculaire à CQ, & lorſqu'elle viendra rencontrer la ligne CM dans un point O, elle formera avec la route & avec CO un triangle iſoſcelle GCO. Nous pouvons donc maintenant caractériſer aiſément le point G où ſe doit terminer la route qu'il eſt le plus avantageux de ſuivre. *Il faut lorſqu'on éleve une perpendiculaire à la courbe* NFG *des vîteſſes dans ce point* G, *que cette perpendiculaire vienne retrancher ſur* CM, *qui fait avec la voile un angle égal à celui que fait la ligne donnée avec la direction du vent, une partie* CO *égale à* CG.

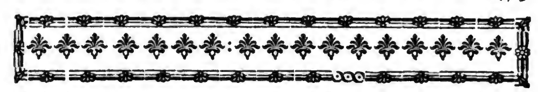
Toute la difficulté ſe réduit encore de cette ſorte comme ci-devant à une queſtion de géométrie pure ; & pour la réſoudre aiſément dans la pratique, il n'y a qu'à tracer

Fig. 89. plusieurs arcs de cercle comme NG, *ng*, &c. qui couperont CM dans les points O, *o*, &c. On tirera les cordes des arcs interceptés OG, *og*, &c, & il n'y aura qu'à examiner laquelle de ces cordes est perpendiculaire à la courbe NFG; cette corde perpendiculaire fera connoître le point G. On peut, pour exécuter cela plus aisément, poser successivement la branche d'une équerre sur les cordes OG, *og*, &c. & s'arrêter aussi-tôt que l'autre branche de l'équerre sera exactement tangente à la courbe.

IV.

On ne peut pas dire avec M. le Chevalier Renau que la courbe NFG des vîtesses est un cercle; mais il peut arriver qu'elle n'en differe que très-peu & qu'on ne commette aucune erreur sensible à supposer qu'elle le soit. Alors les deux problêmes précédens se résoudront d'une maniere immédiate & absolument géometrique, avec une simplicité que les autres solutions qu'on en avoit données ne devoient pas naturellement faire attendre. Il n'y aura qu'à décrire un second cercle du point C comme centre, qui passe par le centre x du cercle NFG, & l'intersection G de ces deux cercles marquera le point où doit se rendre la route CG qui fait *gagner au vent* le plus qu'il est possible. On résoudra avec la même facilité l'autre problême dans lequel il s'agit de trouver la disposition des voiles & du vaisseau la plus avantageuse, par rapport au vent, pour suivre une route proposée. M. Renau s'étoit trouvé obligé de recourir à une construction si longue qu'une partie considérable de son livre est destinée à la détailler ou à l'établir, & encore n'est-elle que méchanique; au lieu qu'il n'y a qu'à former simplement au centre x un angle CxG égal à celui que doit faire la route avec la direction du vent, & le rayon xG indiquera le point où doit se terminer la route. Mais il me paroît que nous avons assez examiné le mouvement du vaisseau en général: il nous faut maintenant discuter en particulier les modifications qu'y apportent les différentes formes de la carene, & la diverse disposition de toutes les autres parties.

TROISIEME



TROISIEME SECTION.

Du vaiſſeau conſideré par rapport à la proprieté qu'il doit avoir de bien gouverner, tant par le moyen du gouvernail, que par le moyen des voiles.

CHAPITRE PREMIER.

De la ſituation des mâts, de leur nombre, & de l'équilibre qu'il doit y avoir entre les voiles de la proue & celles de la poupe.

I.

LE principe établi dès les commencemens de ce troiſieme livre touchant l'égalité & l'oppoſition parfaite qui doivent ſe trouver entre les impulſions du vent & de l'eau, ſuffit pour nous mettre en état d'aſſigner d'une maniere ſûre la place des mâts. Si on n'en veut donner qu'un ſeul au navire, il faut néceſſairement l'arborer dans le point C (Fig. 67.) qui eſt l'interſection de la direction du choc de l'eau dans les routes obliques, & de la quille : autrement les deux différentes impulſions ne pourroient pas être directement oppoſées ni parfaitement contraires. On ne doit pas craindre que ce point change de place dans chaque route, puiſqu'on a vu cette vérité importante, que pourvu que l'eau ne frappe que les mêmes parties de la

Fig. 67.

Fig. 67.

* Voyez le Chap. VIII. art. 2. de la I. Sect. de ce 3e Livre.

proue, quelque figure qu'elle ait, la direction du choc coupe la quille toujours précisément dans le même endroit. * Mais si au lieu d'un seul mât on veut en mettre plusieurs, il faudra les placer en avant & en arriere du point C, comme en Z & en Y, de maniere que les voiles soient dans un parfait équilibre de part & d'autre de ce point; afin qu'elles fassent précisément le même effet qu'une seule qui y seroit appliquée.

La pluralité des voiles est absolument nécessaire, non-seulement parce qu'il n'est pas possible qu'une seule ait assez de largeur; mais encore parce qu'il faut des voiles appliquées aux deux extrémités du vaisseau, pour pouvoir le faire tourner en toutes sortes de sens, ce qui ne pourroit presque jamais s'exécuter avec une seule. Outre cela si la route devient si oblique que l'eau frappe différentes parties de la proue, le point C s'approchera de la poupe, peut-être d'une huitieme partie de la longueur du Navire; & ce ne sera encore qu'avec le secours de plusieurs voiles, selon qu'on exposera au vent, une plus grande ou une moindre surface de celles de l'avant ou de l'arriere, qu'on pourra rendre leur effort commun ou total directement opposé au choc de l'eau, en les faisant se contre-balancer exactement autour du nouveau point C.

Il est selon cela de la derniere importance de déterminer ce point avec précision. C'est ce qui nous a obligé d'insister dans le Chapitre VI. de la premiere Section sur la maniere de chercher la situation de la direction FC du choc de l'eau, en partageant la surface de la carène en parties triangulaires sensiblement planes. Lorsqu'on attribue au navire la figure qu'on lui donne le plus ordinairement, on trouve que la direction FC coupe la quille environ aux deux neuviemes de sa longueur, à commencer de l'avant, ou à peu-près aux cinq seiziemes de toute la longueur du vaisseau. C'est-à-dire que si la distance BA du haut de l'étambot au haut de l'étrave est de 160 pieds, la distance CA est d'environ 50; ce qui ne peut pas être parfaitement exact pour tous les navires, mais ce qui con-

vient au plus grand nombre. Lorſque le vaiſſeau ſera formé de deux cones joints par leur baſe, dont l'un ſervira de proue & l'autre de poupe, & que le premier ſera les $\frac{5}{12}$ de la longueur totale, pendant que le ſecond en ſera les $\frac{7}{12}$, & pendant que la plus grande largeur ſera le quart de toute la longueur, la diſtance CA ne ſera pas tout-à-fait de 50 parties, dont toute la longueur eſt de 160; mais d'environ $48\frac{4}{7}$: cette même diſtance ne ſera que de 46 parties, lorſque la largeur DF ſera la ſixieme partie de la longueur AB. Il faut remarquer que toutes ces diſtances ne conviennent au point C que dans ſa premiere ſituation ou dans les premieres routes obliques, lorſqu'il ne s'eſt pas encore ſenſiblement reculé vers la poupe. Si on ne pouvoit pas, au reſte, ſe réſoudre pour le déterminer, à examiner en détail la figure de chaque proue, on pourroit le chercher par expérience ſur un petit navire, d'un ou deux pieds de longueur, fait ſur la même forme. Il eſt difficile de conclure la hauteur des mâts des grands vaiſſeaux par la hauteur qu'on peut donner aux mâts d'un très-petit; parce qu'il eſt alors queſtion de la force même des puiſſances qui agiſſent, laquelle ne ſuit pas le rapport ſimple de la longueur ou de la largeur du vaiſſeau; au lieu que l'application de la mâture ſur différens points de la quille dépend de la ſeule ſituation des directions des puiſſances, laquelle eſt parfaitement ſemblable dans les grands & dans les petits navires. On pourra encore mettre en mouvement dans le port même le vaiſſeau déja conſtruit, en le tirant par le moyen d'un cordage appliqué au côté de la proue: ce cordage étant prolongé coupera la quille ou l'axe AB dans le point requis C, comme l'a remarqué M. *Camus* dans ſa piece ſur la mâture, qui eſt toute pleine de choſes utiles.

Fig. 67.

Auſſi-tôt enfin que le point C ſera déterminé, on pourra ne placer qu'un ſeul mât qu'on appliquera dans ce point, ou bien on en mettra pluſieurs de part & d'autre, en obſervant toujours qu'il y ait entre les voiles un parfait équilibre. Si on veut, par exemple, rapprocher le mât qui eſt

Fig. 67. en Y, & le porter à une distance du centre d'effort C, moindre d'une dixieme partie, sans toucher aux autres mâts, il n'y aura qu'à rendre sa voile plus grande dans le même rapport qu'on rendra sa distance au point C plus petite. On démontrera dans la suite qu'on doit allonger considérablement les navires, qui ne sont faits exprès que pour la marche, ou ce qui est équivalent, qu'on doit les retrécir : il faudra en même tems retrécir leurs voiles ; & on pourroit alors en multiplier le nombre, en mettant quatre mâts verticaux, au lieu de trois, depuis la poupe jusqu'à la proue, afin de ne pas perdre dans les routes obliques le vent qui passeroit sans cela entre ces voiles trop étroites. Ce n'est que l'expérience qui apprendra si la chose peut s'exécuter commodement. Mais il n'y auroit toujours qu'à faire ensorte que le moment total des unes fût égal au moment total des autres, de part & d'autre du point C.

II.

On peut de cette sorte se dispenser de suivre aussi superstitieusement que le font les Constructeurs, leurs maximes ordinaires. Il est vrai que si leurs regles ne sont pas uniques, elles sont au moins ici presque toujours sûres, & que leur plus grand défaut ne consiste que dans leur simple limitation. Ils auront sans doute d'abord placé le mât du milieu ou le *grand mât* vers le point G ; mais voyant que sa voilure ne servoit point ou ne servoit que très-peu à faire tourner le navire, ils se sont trouvés obligés d'en mettre d'autres vers l'avant & vers l'arriere, le mât *de misaine* en Z & l'*artimon* en Y ; & enfin à force de les changer de place & de réparer l'équilibre, ils sont parvenus à la disposition actuelle, qui est bonne, mais qui pouvoit être différente d'une infinité de manieres. Le mât *de beaupré*, ce mât panché en avant & qui sort du vaisseau, s'est introduit ensuite; parce qu'il arrivoit quelquefois qu'onn'avoit pas encore assez de voiles vers la proue, par la raison que nous expliquerons ci-après, & qu'on l'a d'ailleurs trouvé commode, pour fixer plusieurs cordages qui soutien-

nent les autres mâts. Si on étoit parti d'un autre terme, si on avoit, par exemple, commencé à mettre le premier mât vers la proue, on le trouvoit vraisemblablement amené à un autre arrangement; mais la pratique, quoique dépourvue de théorie & quoique grossiere, ne pouvoit toujours dans cette rencontre que bien conduire, vu la simplicité du sujet qui n'est mêlé de rien d'étranger. Ce n'est pas seulement entre toutes les voiles que l'équilibre se trouve de part & d'autre du point C; il subsiste encore lorsqu'on en a serré une partie & qu'on ne laisse que les quatre principales ou les quatre *majeures*; & on en a encore toute l'obligation à l'expérience. Souvent on ne peut porter que ces quatre voiles; & si elles ne se contrebalançoient pas exactement, on ne pourroit pas suivre constamment la même route. Fig. 76

Il est facile de s'assurer de l'équilibre dont nous parlons. La surface de la grande voile & celle du grand hunier dans un vaisseau du premier rang, est d'environ 9500 pieds quarrés, pendant que celle de la mizaine & de son hunier, est d'environ 8040. Or ces deux étendues sont à très-peu près en raison inverse de leur distance au point C; de sorte que la moindre dimension des voiles de l'avant est exactement récompensée par le bras du levier plus long, auquel elles sont appliquées. Pour le vérifier tout d'un coup, il n'y a, conformement au premier principe de méchanique, qu'à multiplier chaque étendue par sa distance particuliere au point C qui sert d'hypomoclion, & voir si les deux produits ou momens sont égaux. La grande voile est éloignée du point C de 32 $\frac{1}{4}$ pieds, & la mizaine à très-peu près de 38 $\frac{1}{2}$ pieds; ce qui donne 306120 pour le produit ou pour le moment de la premiere, & 309540 pour celui de la seconde.

III.

On peut sans doute retrecir très-considérablement les navires, avant qu'il soit permis d'augmenter le nombre de leurs mâts: mais en poussant le retrecissement encore

Fig. 67. plus loin, les voiles qui feront auffi moins larges, feront moins fujettes à s'embarraffer; & rien n'empêchera alors d'arborer quatre mâts verticaux, comme on l'a déja dit. Dans ce cas il faudroit rapprocher le mât de mifaine Z le plus près qu'il fe pourroit de l'extrémité A de la proue; & on mettroit deux grands mâts, l'un vers P en avant, s'il étoit poffible, du point C, & l'autre vers Q en arriere, & même au-delà du milieu du navire. Les voiles de ces trois mâts, du mât de mifaine arboré en Z, mais rapproché de la proue, du premier grand mât placé en P, & du fecond en Q, fe mettroient exactement en équilibre autour du point C, ou ce qui revient au même, on rendroit le moment des deux premieres parfaitement égal à celui de la troifieme; & on obferveroit en même tems, autant qu'on le pourroit, de faire l'intervale PQ un peu plus grand que l'intervale PZ, de le faire plus grand à-peu-près dans le même rapport, que la fomme des largeurs des deux grandes voiles, feroit plus grande que la fomme de la premiere grande voile & de la mifaine. Cette condition eft néceffaire, comme il eft affez évident, afin que les voiles reçoivent le plus de vent qu'il eft poffible dans les routes obliques, fans fe l'intercepter les unes aux autres. Enfin l'artimon s'arboreroit toujours en Y, ou on le reculeroit un peu plus vers la poupe; & fes voiles ferviroient toujours à fuppléer l'équilibre dans les routes très-obliques, lorfque l'eau commence à frapper la partie poftérieure de la carene, & que le point C s'approche confidérablement du milieu du navire. Les voiles du mât de beaupré conferveroient auffi toujours leur ufage qui eft tout contraire; il fuffiroit de diminuer un peu leur étendue.

Si on vouloit traiter la chofe en rigueur, fans avoir égard à la commodité des marins, qui ne peuvent pas manquer de trouver plus de difficulté à la manœuvre, à mefure qu'il y a un plus grand nombre de différens mâts, il ne faudroit fe borner ni à quatre mâts verticaux ni à cinq, mais en déterminer le nombre, de même que l'application, de la maniere fuivante. Après avoir rapproché la mifaine DE

(Fig. 90.) le plus près de l'extrémité A de la proue qu'il seroit possible, & reglé sa largeur sur celle qu'a le navire dans ce même endroit, on lui feroit faire avec la quille, le plus petit angle ACE qui convient pour aller *au plus près*. On connoîtroit la quantité de cet angle, ou en examinant ce qui se passe dans d'autres navires, ou bien en se conformant aux solutions que nous avons données dans les deux derniers Chapitres de la Section précédente; & on trouveroit en même tems le plus petit angle VCE que doit faire la direction du vent avec le voile. Quant au moindre angle total VCA du vent & de la quille, il seroit de 45 degrés, si le navire étoit infiniment peu large, & il doit être d'environ 55 degrés dans les navires actuels. Tout cela supposé, du bord D de la misaine qui est sous le vent, on tireroit la parallele D*v*, à la direction du vent; & il faudroit rapprocher assez le second mât pour que la voile LM, dont la largeur seroit aussi reglée sur celle du navire, vînt se terminer en M à cette parallele D*v*. Par le bord L de la seconde voile, on conduiroit une nouvelle parallele L*u* à la direction CV; & on placeroit le troisieme mât de maniere que le bord de sa voile qui est au vent, vînt se rendre à cette parallele. On continueroit enfin de cette sorte, en multipliant les mâts, jusqu'à ce qu'il y en eût assez pour que l'effort total du vent s'exerçât sur une direction parfaitement opposée à celle du choc de l'eau; ou ce qui revient au même, pour que toutes les voiles se trouvassent en équilibre de part & d'autre du point de la quille par lequel passe l'axe de ce dernier choc. Il est évident que cette disposition oblige d'augmenter le nombre des mâts ou des voiles à mesure qu'on diminue la largeur du navire: lorsque cette largeur étoit fort grande, trois mâts ou même deux suffisoient; mais il faudroit en augmenter le nombre à l'infini, si on pouvoit rendre les navires infiniment étroits.

Fig. 90.

CHAPITRE II.

De la figure qu'il faudroit donner aux Vaisseaux pour qu'ils gouvernassent parfaitement bien par le moyen des voiles.

I.

IL nous faut examiner maintenant les accidens qui doivent arriver au vaisseau, lorsqu'on altere l'équilibre entre ses voiles; soit lorsqu'on en serre quelqu'une, soit lorsqu'on en expose au vent quelqu'une de plus: il est clair que le navire doit changer de route en obéissant au plus grand effort. C'est l'art de le faire ainsi tourner en toutes sortes de sens qui constitue la partie de la manœuvre que les Officiers cultivent avec le plus de soin, parce qu'elle leur est d'une nécessité absolue dans les combats; & c'est cette même partie qui a été traitée avec succès par le P. Hoste. Il semble que le retranchement ou l'addition d'une voile doit infailliblement produire cet effet, de faire tourner entierement le navire; de même qu'aussi-tôt qu'on touche un peu à un des poids qui sont en équilibre, on fait trebucher la balance. Mais le vaisseau n'est pas toujours dans une parfaite indifférence à se tourner dans toutes sortes de sens, & cela parce qu'il affecte de lui-même une certaine situation par rapport au choc de l'eau. C'est ce qui trouble les regles, & ce qui empêche souvent l'effet auquel on s'attendoit, faute d'avoir présente cette considération.

Au lieu d'une seule voile, supposons que toutes les voiles soient serrées & qu'elles le soient tout-à-coup. Il est évident que le navire ne continuera pas à avancer sur la même ligne jusqu'à la derniere extinction de son mouvement: comme la direction IC (Fig. 90.) du choc de l'eau sur la proue passera en avant du centre de gravité G, la proue

Fig. 90.

proue fléchira d'abord ; & le navire tournera en présentant la proue A un peu plus au vent. Ce premier effet du choc de l'eau est infaillible ; mais il en arrivera un tout contraire un instant après. Le vaisseau par son détour donnera occasion à l'eau de frapper toute la partie postérieure de la carene, ou toute la partie du flanc qui est du côté de la poupe, & cette impulsion fera revenir le vaisseau avec force & avec vîtesse à sa premiere situation, & le fera passer au-delà. Ce second mouvement, quoique tout-à-fait contraire au premier, en est cependant une suite & un effet : car si le vaisseau ne tournoit pas d'abord dans le premier sens & marchoit toujours précisément sur la même ligne, l'eau ne frapperoit que les mêmes parties de la carene. Mais ce qu'il y a encore de plus embarrassant, & ce qui étonne tous les jours les marins, qui voyent quelquefois que leur navire gouverne & que quelquefois il ne gouverne pas ; c'est que le second effet ne suit le premier que lorsque le premier a été porté jusques à un certain terme ; & cela dépend non-seulement du plus ou du moins de promptitude avec lequel on a operé le changement des voiles, mais aussi de l'instant précis auquel on l'a fait.

Fig. 90.

II.

Il est clair que le moyen infaillible & l'unique moyen de remedier à cet inconvénient, c'est de faire ensorte que la direction IC du choc de l'eau dans les routes obliques, passe toujours exactement par le centre de gravité G. Alors le choc de l'eau ne tendra plus à faire tourner le navire, lequel étant dans une parfaite indifférence pour tous les états, obéira avec facilité à tous les divers mouvemens qu'on voudra lui imprimer. C'est ce qui a mis les Constructeurs dans la nécessité de grossir l'avant de leur vaisseau, quoiqu'ils alleguent un autre motif & même fort différent de cet usage. Tant que la proue A a été fort aigue & de même longueur que la poupe, il est arrivé dans les premieres routes obliques, ou lorsque le navire a suivi une ligne GH peu différente de la quille, que la direction IC, selon laquelle s'est exercé le choc de l'eau contre la proue

& contre le flanc de la carene, a été fort éloignée du centre de gravité G : le choc de l'eau a donc fait un continuel effort, & un effort fort grand, pour faire tourner le navire. Mais aussi-tôt que la proue a été raccourcie ou rendue plus grosse, comme dans la fig. 91, la direction IC s'est rapprochée du centre de gravité, en même tems que ce point a fait aussi quelque chemin vers l'avant, & la direction IC passant ensuite par le centre de gravité, ou à peu de distance de ce point, quelque grand qu'ait été le choc de l'eau, il n'a presque point travaillé à faire tourner le navire d'un côté ou d'un autre. Cette force est toujours opposée au mouvement du sillage, comme cela ne pouvoit pas manquer d'arriver dans un milieu résistant : mais son opposition n'a que peu blessé l'indifférence parfaite du vaisseau à l'égard d'une situation ou d'une autre.

Quelquefois, dans les routes obliques, lorsque nos vaisseaux s'inclinent beaucoup, la partie actuellement submergée de leur carene se trouve avoir une figure fort irréguliere. Le haut de la proue étant plus renflé que le bas, le côté de l'inclinaison devient plus gros, & l'autre au contraire devient plus maigre ; de sorte que la partie submergée prend alors la figure B*i*A*k*. Cette irrégularité étant cause que le côté de la proue vers *i* reçoit plus d'impulsion, & que cette impulsion a pour direction une ligne presque perpendiculaire à la quille, produit presque toujours le même effet que lorsque la proue est trop aigue ; & la direction IC du choc se transportant en *ic*, se trouve à une plus grande distance du centre de gravité G. C'est par cette raison que la plus grande partie de nos vaisseaux sont *raviers*, ou qu'ils ont trop de facilité à venir au vent. Aussitôt qu'ils s'inclinent beaucoup, le choc de l'eau selon la direction *ic* agissant avec une grande force relative ou un grand moment, la proue doit céder, & doit avancer du côté du vent vers V. Presque tous les marins attribuent cet effet à la hauteur de la poupe qui sert de voile & qui est jettée sous le vent par son impulsion. Mais il faut certainement que cet effet ait une autre cause & qu'il ait

celle que nous disons, puisqu'il a également lieu dans les chaloupes.

Quoiqu'on doive regarder cette disposition comme un défaut, aussi-tôt qu'elle va trop loin, on peut néanmoins en tirer parti, & c'est ce qu'il seroit à propos que tous les marins sçussent. M. de Radoüay, dans une rencontre très-pressante, fit heureusement usage de cette remarque, qui est dûe à M. le Chevalier de Goyon. Son navire se perdoit infailliblement, à ce qu'il nous assure, si pour le faire *arriver* ou obéir aux voiles de la proue en tournant, il n'avoit fait passer la plus grande partie de son équipage du côté du vent, pour faire diminuer l'inclinaison de l'autre côté. Lorsqu'on veut qu'un navire qui fait route & qui ne sent pas assez son gouvernail, se détourne vers la droite ou vers la gauche, il faut toujours, vu les gabaris qu'employent actuellement les Constructeurs, le faire incliner davantage du côté opposé, soit par le poids de l'équipage, soit par quelqu'autre poids considérable dont on puisse se servir avec promptitude. C'est ce que M. le Chevalier de Goyon avoit remarqué, par cette sagacité naturelle dont nous avons déja parlé, avec laquelle il faisoit sans cesse de nouvelles tentatives dans les vaisseaux qu'il commandoit; & on voit maintenant la raison assez cachée de cette pratique singuliere. On voit aussi qu'elle ne doit réussir que dans les vaisseaux d'une certaine forme, qu'il sera toujours facile de distinguer, aussi-tôt qu'on sçaura déterminer la direction du choc de l'eau sur la proue : d'autres navires pourroient avoir la proprieté toute opposée.

Pour revenir à la grosseur de la proue, il est certain que l'expérience, quoique grossiere, a tellement ici devancé la spéculation que si les Constructeurs se sont trompés sur le droit, ils ne se sont pas au moins trompés sur le fait, & qu'ils ont eu raison de grossir l'avant du navire, quoiqu'il ne soit point vrai qu'il fende ensuite l'eau avec plus de facilité. Ils ont rapporté pour prouver une prétention si étrange l'exemple des poissons qui sont effectivement toujours plus gros par la tête que par la queue; ils ont

ajouté que lorſqu'on remorquoit un mât, on le faiſoit toujours aller le gros bout le premier. Ces prétendues raiſons ont eu aſſez de crédit pour ſe faire adopter par quelques Mathématiciens, qui n'ont pas remarqué que lorſque l'Auteur de la nature a créé les poiſſons, il a voulu en faire des animaux; qu'il a voulu leur donner une tête, un eſtomac, &c. & qu'il n'eſt nullement certain qu'ils ayent la forme la plus propre pour fendre l'eau; puiſque cet avantage a pu être ſacrifié en partie à quelqu'autre que nous ne connoiſſons pas. Le mât qu'on remorque ne prouve encore rien : j'ai toujours remarqué qu'on ne ſe déterminoit à faire avancer l'extrémité la plus groſſe la premiere, qu'afin que le cordage qui étoit lié ſur le mât, ne gliſſât pas. Mais enfin nous pouvons concilier tout, en diſant qu'il eſt à propos de donner à la proue une certaine groſſeur & preſque toujours plus de groſſeur qu'à la poupe, non pas afin que le vaiſſeau ſingle mieux, car nous ſommes ſûrs que c'eſt tout le contraire, mais afin qu'il gouverne avec plus de facilité. Il faut malheureuſement renoncer un peu au premier de ces avantages pour joüir un peu plus de l'autre ; & comme nous n'avons pas l'art de les balancer, parce qu'ils ſont de différens genres, nous ſommes obligés d'apprendre de l'expérience, le partage le plus convenable qu'on peut faire entr'eux.

III.

Cela ne nous empêchera pas d'indiquer ici ou de chercher quelques figures qui doivent avoir la propriété parfaite de bien gouverner. On doit mettre dans le premier rang, les navires qui ont la forme d'un parallelipipede rectangle, comme l'Arche de Noé; tels que ſont à peu près les navires Chinois. Car la direction du choc de l'eau ſur tous les côtés de la carene, paſſe par le centre de gravité, & laiſſe par conſéquent le navire à lui-même ou dans une parfaite indifference. Ce doit être la même choſe dans les routes obliques que dans la route directe. La direction du choc de l'eau paſſant toujours exactement par le même

point, cette force ne tend à altérer la ſituation du navire ni d'un côté ni de l'autre; auſſi-tôt donc qu'on touche aux voiles de l'avant ou de l'arriere, rien n'empêche le vaiſſeau de tourner & d'obéir. On ne compte pas ici pour un obſtacle la peſanteur du vaiſſeau, ou plutôt ſon inertie, ou cette force de perſiſtance dont nous avons eu occaſion de parler à la fin du livre précédent; car elle ne réſiſte qu'à proportion qu'elle ſe laiſſe vaincre: nous aurons cependant le ſoin d'examiner attentivement ſes effets. Mais d'un autre côté la figure d'un parallelipipede rectangle n'eſt pas propre pour le ſillage, en même tems qu'elle eſt ſujette à une grande dérive; & on peut dire la même choſe de toutes les autres formes qui donneront au vaiſſeau l'avantage de mieux gouverner.

Fig. 92.

On s'en convaincra parfaitement, en conſidérant un navire dont l'avant & l'arriere ſoient coniques, tels que les repréſente la figure 92. Lorſque nous ſuppoſons que la proue eſt un cône, ce n'eſt pas dans le ſeul deſſein de rendre nos recherches plus ſimples, c'eſt parce que cette figure ne differe pas extrémement de celle qui fend l'eau avec la plus grande facilité. Si on partage par la penſée la ſurface de cette proue FEAD en une infinité de triangles, comme FAf, dont la pointe ſoit au ſommet A du cône, le choc de l'eau ſur chaque de ces triangles, ſe réunira dans ſon centre de gravité I qui ſera au tiers de ſa hauteur; & ſi on éleve de chacun de ces centres des perpendiculaires IC à la ſurface des triangles, elles repréſenteront les directions particulieres du choc, & elles viendront toutes rencontrer l'axe AB dans un même point C. Pour déterminer la diſtance AC de ce point à l'extrémité A de la proue, il n'y a qu'à conſiderer que les triangles rectangles FHA & CIA ſont ſemblables, & faire cette analogie; AH eſt à AF comme AI, qui eſt les deux tiers de AF, eſt à AC. Ainſi nommant a la longueur AH de la proue, & x la demie largeur FH, ce qui nous donnera AF$=\sqrt{a^2+x^2}$, nous aurons en caracteres algébriques $\frac{2a^2+2x^2}{3a}$ pour la valeur de AC.

Il n'eſt donc maintenant queſtion, ſi l'on veut donner au navire AB formé de deux demi-cônes, la proprieté complette de bien gouverner, que de faire enſorte que le centre de gravité C du tout, ſoit à la même diſtance $\frac{2a^2 + 2x^2}{3a}$ du point A. Le centre de gravité particulier de chaque cône eſt au quart de ſa hauteur, comme on le prouve en méchanique : Le point K eſt le centre de gravité du cône de la proue, & L le centre de gravité du cône de la poupe ; & HK eſt le quart de HA, de même que HL eſt le quart de HB. Le centre de gravité commun C du tout partage la diſtance LK d'un centre de gravité particulier à l'autre réciproquement aux ſolidités des deux cônes, qui à cauſe de la même baſe, ſont en même raiſon que les axes HA & HB, & que leurs mêmes parties aliquotes HK & HL. Ainſi il n'y a qu'à tranſporter HK en LC, ou HL en KC, & nous aurons en C le centre de gravité commun ; c'eſt-à-dire, que ſi nous nommons y toute la longueur AB du navire, ce qui nous donnera $y - a$ pour HB, nous n'avons qu'à joindre le quart $\frac{1}{4}y - \frac{1}{4}a$ de HB, avec AK $= \frac{3}{4}a$, & il nous viendra $\frac{1}{4}y + \frac{1}{2}a$ pour la diſtance CA du centre de gravité C à l'extrémité A de la proue. Or c'eſt cette diſtance qui doit être egale à $\frac{2a^2 + 2x^2}{3a}$, puiſqu'on veut que le centre de gravité concoure avec le point C où la direction du choc de l'eau coupe l'axe AB ; nous avons donc l'équation $\frac{1}{4}y + \frac{1}{2}a = \frac{2a^2 + 2x^2}{3a}$. Suppoſé maintenant que le rapport de la longueur AB du navire à la largeur DF ſoit donné & exprimé par m & n, nous pouvons faire cette analogie, $m \mid n \mid\mid y \mid 2x$, & nous obtiendrons l'équation $2mx = ny$ qu'il ne reſte plus qu'à introduire dans l'autre, pour avoir $\frac{mx}{2n} + \frac{1}{2}a = \frac{2a^2 + 2x^2}{3a}$. Mais on tire de cette derniere la *formule* $x = \frac{3ma}{8n} \pm a\sqrt{\frac{9m^2 - 16n^2}{64n^2}}$ qui nous apprend la relation de la longueur a de la proue à la demie largeur HD ou HF.

Dans les cas où la longueur du navire ſera triple de ſa

largeur, on aura à la place de m & de n les nombres 3 & 1, & la formule précédente se réduira à $x = \frac{9}{8} a + a \sqrt{\frac{65}{64}}$. Supposé que a ou HA soit de 100 parties, la demie largeur HD ou HF sera d'environ 212 $\frac{3}{4}$, & l'angle CAF de presque 65 degrés; l'angle DAF, qui est double, sera de plus de 129, & on juge assez qu'une proue si obtuse éprouveroit de la part de l'eau une très-grande résistance; elle en éprouveroit presque deux fois plus que la proue des flûtes construites le plus grossierement. Fig. 92.

Ainsi il n'est que trop vrai qu'il y a une espece d'incompatibilité entre les deux proprietés du navire, de bien gouverner par le moyen des voiles & de bien marcher, & qu'il faut, comme nous l'avons dit, renoncer un peu à l'une, afin de ne pas perdre tout-à-fait l'autre. Il est déja comme décidé que les vaisseaux du premier & du second rang ne doivent pas disputer la promptitude du sillage aux frégates, & qu'ils ne sont pas destinés à les poursuivre. Leur principal usage est de naviger en corps d'Armée, & de combattre en ligne. Ainsi on peut sans inconvénient être attentif à leur donner l'avantage de bien gouverner, en avançant un peu plus leur plus grande largeur ou leur centre de gravité vers la proue. Dans les frégates on exige au contraire la promptitude de la marche; il faut donc ne pas faire la proue si obtuse, & reculer un peu plus vers l'arriere la plus grande largeur; ce qui fera aussi qu'elles dériveront moins. Mais ce changement ne doit jamais être que peu considérable, & tout au plus que d'une vingt-quatrieme partie de toute la longueur du vaisseau, afin de ne pas trop préjudicier à quelques unes des autres proprietés.



CHAPITRE III.

De l'endroit où le vaiſſeau doit avoir ſa plus grande largeur, pour être plus ſenſible à l'effet du gouvernail.

I.

LORSQU'IL ne s'agit pas de changer de route & qu'on veut ſimplement faire revenir le vaiſſeau à ſa premiere direction, dont le choc irrégulier des vagues l'avoit détourné, on ne ſe ſert que du gouvervail. La mer étant continuellement agitée, l'équilibre ſe trouve ſans ceſſe alteré, & il faut pour le rétablir faire un uſage continuel de cet inſtrument. Le navire ſe meut en effet preſque toujours par élans; on le fait revenir inutilement à ſa vraie route, ſon mouvement le tranſporte de l'autre côté; ce qui met les *timoniers* dans un travail qui ne ceſſe jamais. Nous allons examiner l'endroit du navire où il faut mettre ſa plus grande largeur, pour que ſa propre peſanteur, ou ſon inertie, favoriſe l'action du gouvernail le plus qu'il eſt poſſible.

Pluſieurs méchaniciens ont déja découvert que lorſqu'une puiſſance appliquée à l'extrémité d'une verge également peſante par-tout, travaille à la faire tourner, cette verge tourne ſur un point qui eſt aux deux tiers de ſa longueur; & nos Auteurs de Marine, ſans remarquer que le cas pouvoit être différent, ſe ſont hâtés d'en inférer que l'endroit le plus gros & le plus peſant du vaiſſeau, devoit être au tiers de ſa longueur vers la proue. C'eſt vers cet endroit qu'on a mis pendant long-tems la plus grande largeur du navire; d'où on ne l'a depuis reculée peu à peu vers le milieu, qu'afin de rendre la proue plus aigue & de diminuer la réſiſtance de l'eau. Mais il eſt certain qu'on a encore

encore aidé par ce changement l'action du gouvernail; & que c'est ici une de ces circonstances où l'on a mieux fait de se laisser absolument conduire par l'expérience, que de s'en rapporter à une théorie demeurée imparfaite, parce qu'elle n'avoit pas été poussée assez loin.

II.

Afin de mieux représenter le vaisseau & son mouvement de tournoyement, nous nous imaginerons que la regle AB (Fig. 93.) est chargée d'un poids en D. Nous chercherons d'abord sur quel point C elle doit tourner, lorsqu'une puissance appliquée en B pousse son extrémité de B en *b*; nous ferons ensuite changer le poids D de place en le faisant glisser le long de la verge, & nous chercherons en quel endroit il faut l'arrêter, pour que l'angle de conversion BC*b* devienne un *maximum*, quoique la puissance qui agit en B soit toujours la même. Lorsque la regle AB tourne sur le point C, chaque de ses parties prend plus ou moins de mouvement, selon qu'elle est plus ou moins éloignée de ce point, & l'*inertie* ou la force de persistance de toutes les parties BC fait le même effet qu'une puissance qui agiroit selon EF dans le sens contraire au mouvement; en même tems que l'*inertie* des parties CA fait le même effet qu'une puissance qui agissant dans le point K, auroit KH pour direction. Or ces deux puissances doivent faire équilibre avec la puissance appliquée en B, qui produit tout le mouvement. Cette derniere puissance communique plus de vîtesse au point B qu'à tous les autres qui restent en arriere par leur inertie; & l'obstacle que les parties de BC mettent à recevoir du mouvement, fait que la verge tourne sur le point C, & que l'extrémité CA se meut dans un sens contraire. Il est clair après cela, en y faisant un peu de reflexion, qu'il n'y a qu'un équilibre parfait entre la résistance que cause l'inertie des deux parties CA, CB, & la puissance appliquée en B, qui puisse empêcher la verge, ou de recevoir plus de mouvement, ou de tourner

Fig. 93.

ſur un autre point. Nous ne mettrons point par tout ici, au nombre des obſtacles au mouvement de la regle, la réſiſtance que peut faire le milieu : car comme il ne s'agit que du ſeul commencement du mouvement, ou des premiers degrés de vîteſſe qui ſont, ſi on le veut, infiniment petits, la réſiſtance du milieu doit être nulle.

Chaque partie de BC recevant un mouvement proportionnel à ſa diſtance au point C, nous pouvons repréſenter le mouvement de tout BC par le triangle BC*b* ; & le mouvement de tous les points de l'autre portion CA par le triangle AC*a*. Chaque point réſiſte à proportion du mouvement qu'il prend ; de ſorte que les deux triangle BC*b* & AC*a* ne repréſentent pas moins les quantités de la réſiſtance que les quantités du mouvement. Si on conſidere de plus chacune de ces réſiſtances comme réunie dans un ſeul point, ce ſera dans le centre de gravité de chaque triangle qui la repréſente, & ce ſera par conſéquent en E & en K, aux deux tiers de CB & de CA, à commencer au centre de converſion. Mais puiſque la réſiſtance de BC ſelon EF produit le mouvement de CA, & que nous pouvons prendre le point B pour hypomoclion, parce que l'équilibre eſt parfait entre la puiſſance appliquée en B & les deux réſiſtances qui s'exercent ſelon EF & KH, il eſt évident que la réſiſtance de BC multipliée par BE, doit être égale à la quantité du mouvement que reçoit CA multipliée par BK. Il eſt ordinairement plus naturel de prendre pour hypomoclion le point du levier qui ne change point de place, & on y eſt obligé lorſque le point d'appui eſt inébranlable, & lorſqu'il eſt capable d'ailleurs de toute la force qui eſt néceſſaire : mais dans l'équilibre parfait de trois ou d'un plus grand nombre de puiſſances qui ſuſpendent totalement l'effet les unes des autres, on peut toujours faire ſervir laquelle de ces puiſſances on veut d'hypomoclion, comme il eſt facile de s'en aſſurer. Il y a même preſque toujours de la commodité à en préferer une ; parce que ſon moment ſe trouvant enſuite nul, on eſt diſpenſé d'y avoir égard. Plaçant dans la recherche préſente l'hy-

pomoclion en B, le moment de la résistance de BC est égal au moment du mouvement de CA, & il n'y a rien à considerer de plus, lorsqu'il n'y a point de poids en D : mais il est clair que la résistance que forme le mouvement de ce corps, doit aider ici à celle de la partie BC.

Fig. 93.

III.

Cela supposé, nous n'avons qu'à nommer a la longueur de toute la regle AB, & représenter sa pesanteur par la même lettre. Si nous nommons en même tems b la pesanteur du corps D ; m sa distance BD à l'extrémité B ; u la vîtesse Bb, & enfin x la distance BC du centre de conversion à la même extrémité : nous aurons $\frac{1}{2}xu$ pour l'étendue du triangle CBb, & $\overline{\frac{1}{2}a - \frac{1}{2}x} \times \frac{u \times \overline{a - x}}{x}$ moitié du produit de CA $= a - x$ par A$a = \frac{u \times \overline{a - x}}{x}$ pour celle du triangle ACa. Et si nous multiplions la premiere par BE $= \frac{1}{3}x$ & la seconde par BK (= BA — BK) $= \frac{2}{3}a + \frac{1}{3}x$, nous aurons les momens $\frac{1}{6}x^2u$ & $\overline{\frac{1}{3}a^3 - \frac{1}{2}a^2x + \frac{1}{6}x^3} \times \frac{u}{x}$ qui seroient égaux, sans qu'il faut joindre au premier le moment de la résistance du corps D. Nous aurons d'abord la vîtesse de ce corps par cette analogie BC $= x \mid$ B$b = u$ $\parallel$ DC $= x - m \mid \overline{x - m} \times \frac{u}{x}$; multipliant ensuite cette vîtesse par la pesanteur b, nous aurons $\overline{x - m} \times \frac{bu}{x}$ pour la quantité du mouvement de ce corps & de la résistance que produit son inertie, & multipliant cette résistance par BD $= m$, nous en aurons le moment $\overline{bmx - bm^2} \times \frac{u}{x}$, qui doit être ajoutée au moment $\frac{1}{6}x^2u$ de la résistance de la partie BC ; & nous aurons l'équation $\overline{bmx - bm^2} \times \frac{u}{x} + \frac{1}{6}x^2u = \overline{\frac{1}{3}a^3 - \frac{1}{2}a^2x + \frac{1}{6}x^3} \times \frac{u}{x}$ dont nous tirons la formule $x = \frac{\frac{1}{3}a^3 + bm^2}{\frac{1}{2}a^2 + bm}$ qui nous apprend en termes connus, com-

Fig. 93. bien le centre de converſion C eſt éloigné de l'extrémité B de la verge AB.

IV.

On peut faire différentes remarques ſur cette formule : on voit, par exemple, qu'il y a deux cas où le corps D, quelque peſant qu'il ſoit, n'empêche pas le centre de converſion d'être aux deux tiers de la regle : c'eſt lorſqu'il eſt à l'extrémité B, à laquelle la puiſſance motrice eſt appliquée, ou lorſqu'il eſt dans le centre de converſion même aux deux tiers de la regle. Car qu'on ſuppoſe $m = 0$, ou $m = \frac{2}{3} a$, la quantité $x = \frac{\frac{1}{3} a^3 + bm^2}{\frac{1}{2} a^2 + bm}$ ſe réduit alors également à $x = \frac{2}{3} a$; ſans qu'il importe que la peſanteur b du corps D ſoit d'une grandeur ou d'une petiteſſe énorme par rapport à celle de la regle : ce que la formule nous indique, eſt d'ailleurs évident. Mais il eſt maintenant queſtion de chercher pour chaque poſition que peut avoir le poids D, la quantité de l'angle de converſion BCb. Nous repréſenterons pour cela la puiſſance qui agit en B par le mouvement d'un corps d'une peſanteur ou d'une maſſe connue p qui vient frapper l'extrémité B avec une vîteſſe conſtante V, & nous ſuppoſerons que le choc ſe fait à la maniere des corps abſolument dénués d'élaſticité ; c'eſt-à-dire, que nous conſidererons le corps & la regle, ou comme mols ou comme infiniment durs : car c'eſt la même choſe, lorſqu'il s'agit de la communication des mouvemens.

La quantité de mouvement que reçoit la regle eſt le produit de ſa maſſe ou de ſa peſanteur a par la vîteſſe que prend ſon centre de gravité qui eſt au milieu M de ſa longueur. Certaines parties ſe meuvent plus vîte ; d'autres plus lentement ; mais la vîteſſe du centre de gravité, eſt la vîteſſe moyenne, & on peut toujours ſans ſe tromper l'attribuer à tout le corps. Ainſi nous n'avons qu'à faire cette analogie ; $BC = x \mid Bb = u \mid\mid CM = x - \frac{1}{2} a \mid u - \frac{au}{2x}$, nous au-

rons $u - \frac{au}{2x}$ pour la vîtesse que prend la verge, & la multipliant par a, nous aurons $au - \frac{a^2 u}{2x}$ pour la quantité de mouvement reçue. Nous avons déja trouvé la quantité de mouvement reçue par le corps D ; c'est $bu - \frac{bmu}{x}$, qu'il n'y a qu'à ajouter à celui de la regle, & nous aurons le mouvement total $au + bu - \frac{a^2 u}{2x} - \frac{bmu}{x}$ communiqué par la puissance qui agit en B. Or ce dernier mouvement doit être égal à celui qu'a perdu la puissance ou le corps p qui la représente, & qui n'a après le choc que la vîtesse u, au lieu qu'il avoit auparavant la vîtesse V. Cette égalité doit être parfaite : car ce n'est pas ici le cas où un obstacle inébranlable, qui sert d'hypomoclion, absorbe quelquefois une partie du mouvement ; toute la regle se meut ou peut se mouvoir, & le mouvement se fait outre cela dans le sens perpendiculaire à sa longueur, ou dans le même sens qu'agit la puissance B, sans qu'il y ait aucune réduction ou décomposition de force à faire.

Fig. 86.

Pour mieux s'en convaincre, on n'a qu'à considerer que lorsqu'un corps vient frapper une regle dans un certain point, le centre de mouvement que reçoit cette regle, & en même tems tous les poids dont elle est chargée, se trouve nécessairement dans le point frappé. Car il faut toujours que le mouvement de la regle soit en équilibre de part & d'autre de ce point ; autrement une des extrémités de la regle prendroit plus ou moins de vîtesse : ou pour dire encore la même chose en d'autres termes, le point frappé doit toujours devenir le centre de percussion de la regle en mouvement & de ses poids. Ainsi la direction moyenne sur laquelle s'exerçoit le mouvement perdu du corps choquant, ne differe pas de la direction du mouvement acquis de la regle, c'est précisément la même ligne. Supposé donc qu'on prenne pour hypomoclion le point sur lequel tourne la regle, ou qu'on prenne tout autre point imaginable, les deux directions en seront toujours également éloignées, &

Fig. 93.

par conſéquent les deux forces ne peuvent pas manquer d'être exactement égales ; le mouvement perdu d'un des corps, & le mouvement acquis de l'autre. Il ſuit de là que p V déſignant le mouvement qu'avoit d'abord le corps p, & pu celui qui lui reſte, ſon mouvement perdu ſera déſigné par $p\text{V} - pu$; & que nous aurons l'équation $p\text{V} - pu = au + bu - \frac{a^2 u}{2x} - \frac{bmu}{x}$, dont on tire $u = \frac{p\text{V}x}{\overline{a+b+p} \times x - \frac{1}{2}a^2 - bm}$. Formule qui nous marque en grandeurs entierement connues, puiſque nous avons déja trouvé x, la quantité de la vîteſſe u que prend l'extrémité B de la verge.

VI.

Mais nous ne devons pas faire de cette vîteſſe l'unique objet de notre recherche ; c'eſt l'angle de converſion BCb qu'il s'agit maintenant de découvrir ; & il eſt évident que la grandeur de cet angle dépend de la grandeur de la vîteſſe Bb, & de la petiteſſe de BC. Plus la vîteſſe Bb ſera grande, tout le reſte étant égal, plus l'angle BCb ſera grand ; & ce même angle ſera encore d'autant plus grand, que la diſtance BC, où les deux côtés qui forment l'angle vont ſe rencontrer, ſera plus petite. Cet angle peut donc être repréſenté par Bb diviſée par BC ; & nous aurons pour ſon expreſſion algébrique $\frac{u}{x} = \frac{p\text{V}}{\overline{a+b+p} \times x - \frac{1}{2}a^2 - bm}$ qui ſe change en $\frac{p\text{V} \times \overline{\frac{1}{2}a^2 + bm}}{\frac{1}{12}a^4 + \frac{1}{3}a^3 b + \frac{1}{3}a^3 p - a^2 bm + bpm^2 + abm^2}$, lorſqu'on introduit $\frac{\frac{1}{3}a^3 + bm^2}{\frac{1}{2}a^2 + bm}$ à la place de x. Il ne nous reſte plus après cela qu'à rendre cette quantité un *plus grand*, en ſuppoſant m variable. Je prens la differentielle de cette quantité, & l'égalant à zero, ſelon les regles ordinaires, il vient $\left.\begin{matrix} +ab^2 \\ +b^2 p \end{matrix}\right\} m^2 \left.\begin{matrix} +a^3 b \\ +a^2 bp \end{matrix}\right\} m = \frac{7}{12}a^4 b + \frac{1}{3}a^3 b^2 + \frac{1}{3}a^3 bp$ qui contient la valeur de m qu'on vouloit découvrir, ou la diſtance BD à laquelle il faut arrêter le poids D, pour que la verge BA tourne avec le plus de facilité qu'il eſt poſſible.

Si on ſuppoſe que le mobile qui frappe l'extrémité B de la regle, eſt d'une petiteſſe infinie, & que ſon action ne ſoit ſenſible que parce qu'elle eſt repétée une infinité de fois, comme cela arrive affectivement à celle de l'eau contre le gouvernail, il faut effacer tous les termes qui contiennent p, & on aura $bm^2 + a^2m = \frac{7}{12}a^3 + \frac{1}{3}a^2b$, dont on tire $m = -\frac{a^2}{2b} \pm \sqrt{\frac{a^4}{4b^2} + \frac{7a^3}{12b} + \frac{1}{3}a^2}$. Veut-on maintenant que le poids b du corps D ſoit énorme par rapport à la peſanteur a de la regle; nous aurons $m = a\sqrt{\frac{1}{3}}$; de ſorte que ſi la longueur AB eſt de 100 parties, il faudra mettre le poids D à preſque 58 parties de diſtance de l'extrémité B. Le poids D au contraire eſt-il infiniment petit, nous aurons $m = \frac{7}{12}a$; de ſorte que ſi ce corps étoit capable de quelque effet, pendant qu'il eſt infiniment petit, il faudroit le mettre à $58\frac{1}{3}$ parties. Ce ſera encore à peu près la même choſe, ſi on ſuppoſe le poids D égal à celui de la regle; car on aura $m = -\frac{1}{2}a \pm a\sqrt{\frac{7}{6}}$ qui eſt égal à très-peu près aux $\frac{7}{12}$ de BA. Or on peut inferer de-là que la plus grande largeur des vaiſſeaux, pour qu'ils puiſſent mieux ſentir le gouvernail, *ne doit pas être au milieu de leur longueur, ni auſſi tout-à-fait aux deux tiers; mais à peu près entre ces deux points, ou à environ une douzieme partie de toute la longueur plus en avant que le milieu.* Nous diſons que le vaiſſeau doit avoir ſa plus grande groſſeur dans cet endroit & non pas ſon centre de gravité. Car excepté le cas qui n'a jamais ſon application, où le poids D eſt infiniment grand, par rapport à la peſanteur de la regle BA, le centre de gravité du tout eſt toujours entre le point D & le milieu de la regle; & lors qu'on mettra la plus grande largeur du navire D vis-à-vis des cinq douziemes de ſa longueur, à commencer de la proue A, le centre de gravité ſera auſſi toujours plus vers le milieu.

Fig. 53.

VI.

Il eſt vrai que la plus grande largeur ne ſera pas dans l'endroit où il faut qu'elle ſoit pour ſatisfaire à la condition

Fig. 93. que nous avons tâché de remplir dans le chapitre précédent: mais il faut toujours se souvenir qu'il n'est pas possible de concilier les quatre divers avantages qu'on peut avoir actuellement en vue; & que ce n'est pas non plus ici le même cas qu'en Geométrie, lorsqu'il s'agit des quantités qu'on nomme *maximum maximorum.* Là le changement de certaines conditions faisant augmenter une grandeur, & la rendant un *maximum*, le changement de quelques autres conditions qui se joignent aux premieres, fait encore croître la grandeur & la même grandeur. Ainsi il n'y a qu'à combiner toutes les conditions ou les équations qui les représentent, pour obtenir le *maximum maximorum.* C'est tout le contraire dans les problêmes qui sont maintenant l'objet de notre recherche. Il s'agit de *maximum* de genres tout différens, & qui se nuisent par leur contrarieté. Si nous voulons conserver au vaisseau cette indifférence de situation qui fait qu'il gouverne aisément par le moyen des voiles, il faut porter sa plus grande largeur beaucoup plus vers la proue; mais alors nous ferons tort à la proprieté qu'il doit avoir d'être sensible au gouvernail, de même qu'à celle de singler avec promptitude, & à celle d'être sujet à peu de dérive ou de déviation dans les routes obliques. Nous avons montré dans la premiere Section que ces deux dernieres proprietés vont toujours ensemble: d'abord elles sont jointes aussi, pour ainsi dire, d'interêt avec celle que doit avoir le vaisseau d'obéir aisément au gouvernail, mais elles s'en séparent à la fin; puisque pour faire accelerer de plus en plus le sillage, de même que pour rendre la dérive de plus petite en plus petite, il faudroit porter la plus grande largeur beaucoup plus en arriere qu'aux cinq douziemes de la longueur du navire, à commencer de l'extrémité de la proue. On est obligé encore une fois de se prêter plus ou moins à l'une ou à l'autre des quatre conditions, selon les usages ausquels on destine les navires; & on pourra pour cela, ainsi que nous en avons déja averti à la fin du Chapitre précédent, avancer ou reculer la plus grande largeur d'une vingt-

vingt-quatrieme partie. Au reste quoiqu'il soit clair qu'on ne doive pas trop presser la comparaison entre le vaisseau & la regle ou verge pesante; comme on voit néanmoins que les masses ou les pesanteurs les plus différentes qu'on attribue au poids qui la charge, ne font changer que très-peu le point le plus avantageux où il faut l'appliquer, on a ici une forte confirmation de ce que l'expérience seule, mais aidée d'un long tâtonnement, avoit déja réussi à déterminer

CHAPITRE IV.

Méthode de reconnoître si un vaisseau qu'on se propose de construire gouvernera avec facilité; ou examen du mouvement que doit prendre un corps que deux puissances tendent à faire tourner en même tems de deux différens côtés.

I.

PUISQU'ON ne doit pas donner aux vaisseaux la propriété parfaite de bien gouverner, afin de ne pas trop préjudicier à ses autres qualités; on doit au moins examiner s'ils la posséderont dans un degré suffisant pour les usages ordinaires. La question se réduit à sçavoir, lorsque le navire est exposé au choc du vent & à celui de l'eau, & que ces deux forces ne sont pas directement contraires, laquelle des deux doit prévaloir. Nous représenterons encore le vaisseau par une regle AB (Fig. 94.), mais à chaque point de laquelle on attribuera la pesanteur qu'on voudra, & nous la supposerons exposée à l'action de deux puissances extérieures qui agissant perpendiculairement à sa longueur, tendent à la faire tourner en différens sens, l'une en s'exerçant selon la direction Aa, & l'autre selon la direction DE. Nous sçavons bien que l'effort du vent sur la voile n'agit pas perpendiculairement à la longueur du vaiss-

Fig. 94.

Fig. 94. seau, non plus que le choc de l'eau sur la proue ; mais on peut toujours réduire aisément ces puissances à un effort perpendiculaire, en négligeant la partie qui agit exactement selon la longueur du navire, & qui ne contribue aucunement à le faire tourner ; de cette sorte la comparaison sera parfaite.

Si les deux puissances appliquées en A & en D sont égales, celle qui sera la plus éloignée du centre de gravité G de la regle doit dominer infailliblement, & la regle tourner sur son centre de gravité G, par la même raison que le vaisseau dans le roulis fait ces balancemens autour du même point. La regle AB prenant la situation *ab*, toute la partie GA résiste par son inertie, comme une puissance qui agiroit dans le sens contraire de I en K, conformément à ce que nous avons déja dit tant de fois, & l'inertie de la partie GB fait le même effet qu'une puissance qui s'exerceroit selon FH. Or ces deux puissances doivent être en équilibre avec les deux forces motrices qui agissent selon A*a* & selon DE; & puisque ces deux forces motrices sont égales ent'elles, il faut que les deux autres le soient aussi *. Mais il résulte de-là que les deux parties GA & GB doivent prendre précisément la même quantité de mouvement, & que toute la regle doit donc tourner sur son centre de gravité.

* Voyez l'article 2. & 3. du Chap. 1. Sect. 3. Liv. 2.

Cette propriété est très-remarquable, qu'aussi-tôt que les deux puissances motrices sont égales, elles font toujours tourner la regle sur son centre de gravité, sans qu'il importe en quel endroit elles soient appliquées. Il n'y a que la quantité du tournoyement qui dépende de cette derniere circonstance ; car si c'est une des conditions de l'équilibre que la somme des deux forces qui agissent d'un côté, soit égale à la somme des deux autres forces qui agissent de l'autre, parce que les directions sont exactement paralleles, il faut encore qu'il y ait égalité entre les momens ; & cette égalité naît du différent rapport qu'ont les résistances produites par l'inertie avec les forces motrices. Lorsque ces deux dernieres forces sont inégales, les

deux réſiſtances doivent l'être pareillement ; & la regle au lieu de tourner ſur ſon centre de gravité, doit tourner ſur un autre point. De tout cela il naît différens cas qu'on peut diſtinguer, en examinant les circonſtances de l'équilibre qui doit toujours ſe trouver entre les quatre forces qui ſont ici à conſiderer. Mais nous allons diſcuter la choſe d'une maniere plus ſimple qui applanira extrêmement toutes les difficultés qui peuvent ſe préſenter dans cette recherche.

II.

Nous conſidérerons les deux forces motrices dont l'action eſt ſimultanée, comme ſi elles agiſſoient l'une après l'autre, en ne mettant que le moindre intervalle entre leurs effets ſucceſſifs. On examinera de cette ſorte le tournoyement que chaque puiſſance cauſe à part, & on obtiendra à la fin le réſultat total ou ultérieur. Nous avons pour cela beſoin de deux principes, l'un deſquels nous a déja ſervi, & que nous avons éclairci; ſçavoir, qu'en quelque endroit que ſoit appliquée la puiſſance motrice, le centre de gravité de la regle ou du corps ſur lequel cette puiſſance agit, prend toujours la même vîteſſe ; parce que c'eſt le chemin que parcourt ce point qui exprime ou qui repréſente le mouvement que reçoit tout le corps, & que ce mouvement doit être égal à la force employée par la puiſſance motrice ; & conſtamment le même, auſſi tôt que la puiſſance agit avec une vîteſſe incomparablement grande par rapport à celle que prend le corps dans chaque inſtant. Le ſecond principe, c'eſt que plus la force motrice eſt appliquée proche du centre de gravité de la regle, plus elle la fait tourner ſur un point qui en eſt éloigné, & les deux diſtances ſont toujours en raiſon inverſe l'une de l'autre. Je crois que ce ſecond principe eſt connu des Méchaniciens, & qu'il a même été déja établi, quoique ſous une face différente, par M. Huyghens dans ſon Traité *de Horologio oſcillatorio*; je n'en ſuis cependant pas ſûr, & c'eſt ce que je ne puis vérifier maintenant. On croira ſans peine que je

n'ai dans les deſerts & ſur les montagnes du Pérou, où je travaille à ce Traité, que les ſeuls livres qui me ſont abſolument néceſſaires pour mes opérations actuelles, & que je manque de tous les autres qu'on ne connoît pas même dans le Pays.

III.

Pour ne pas, dans le doute *, laiſſer ſans quelque explication le principe dont il s'agit, conſidérons la regle BA (Fig. 95.) pendant qu'elle tourne ſur ſon extrêmité B, en prenant la ſituation B*a*. Chaque de ſes points, comme F, recevra une vîteſſe proportionnelle à ſa diſtance au point B; mais comme nous ſuppoſons que cette regle n'eſt pas par-tout également peſante, le mouvement de ſes parties ne ſera pas proportionnel à leur vîteſſe, mais il ſera repréſenté par les ordonnées FH d'une courbe BHA; chaque ordonnée étant égale au produit de la peſanteur du point correſpondant par ſa vîteſſe, ou ce qui eſt la même choſe par ſa diſtance à l'extrêmité B; & de toute l'étendue curviligne ABHA, qui eſt la ſomme de toutes les ordonnées, exprimera le mouvement de toute la regle. Ce mouvement eſt égal au produit de la maſſe entiere par la diſtance GB de ſon centre de gravité G à l'extrêmité B; puiſqu'on démontre en méchanique, que ſi on fait une ſomme des produits de toutes les parties d'un corps par leur diſtance à un point qu'on prend pour terme, cette ſomme eſt égale au produit de tout le corps par la diſtance de ſon centre de gravité commun à ce point qui ſert de terme.

* Quoique j'aie vu à mon retour que M. Huyghens avoit établi le principe dont il eſt queſtion, j'ai cru ne devoir rien changer ici.

Fig. 95.

On peut conſiderer outre cela le mouvement de toute la regle, réuni dans un centre D, lequel doit différer du centre de gravité G, parce que toutes les parties de la regle prennent des vîteſſes différentes; & il eſt évident que ce centre doit répondre en D vis-à-vis du centre de gravité E de l'eſpace curviligne, qui exprime non-ſeulement la quantité totale du mouvement, mais qui en marque auſſi la diſtribution par ſes ordonnées. Or il eſt clair que ſi une

puiſſance pouſſe la regle perpendiculairement dans le point D, elle la fera tourner exactement ſur ſon extrêmité B; car auſſi-tôt que D eſt le point dans lequel on peut conſiderer que tout le mouvement ſe réunit, les quantités de mouvement que prend la regle de part & d'autre de ce point, doivent ſe contrebalancer parfaitement, de même que les réſiſtances que cauſe l'inertie; au lieu que cet équilibre ne ſubſiſteroit plus ſi la puiſſance étant toujours appliquée en D, la regle tournoit ſur tout autre point que ſur l'extrêmité B.

Fig. 95.

Suppoſons maintenant que la regle tourne ſur le point C, & prenne la ſituation ba. Alors le mouvement de chaque point, comme F, aulieu d'être proportionnel au produit de ſa maſſe par ſa diſtance FB à l'extrêmité B, ſera proportionnel au produit de ſa maſſe par ſa diſtance FC au centre de converſion C. Ainſi pour repréſenter le mouvement total de la regle, il faut ajouter à la figure mixtiligne ABHA une autre figure curviligne AHBIA dont les ordonnées, comme HI, ſoient proportionnelles au produit de la maſſe de chaque point F par la ligne conſtante BC. La peſanteur de chaque point étant multipliée par la ligne BC, le centre de gravité g de la figure ajoutée AHBI doit répondre exactement vis-à-vis du centre de gravité G de la regle. Et il eſt clair que le point K où il faut appliquer la force motrice qui doit faire tourner la regle ſur le point C, en la pouſſant perpendiculairement, doit répondre vis-à-vis du centre de gravité de la figure entiere ABIA, qui repréſente le mouvement total de la regle. Or pour déterminer ce centre de gravité commun, ou pour déterminer le point K, il n'y a qu'à partager l'intervalle GD compris entre les points G & D qui répondent au centre de gravité des deux figures partiales BHAI & BFAH; il n'y a, dis-je, qu'à partager GD en raiſon inverſe des deux figures ou des deux lignes CB & BG qui ſont en même rapport que ces deux figures, puiſque l'une eſt le produit de toute la maſſe de la regle AB par CB, & l'autre le produit de cette même maſſe par BG.

Fig. 95. Ainsi si une figure est égale à l'autre, CB sera égale à BG, ou CG double de BG, & le point K étant au milieu de GD, l'intervalle GD sera aussi double de GK. Si pareillement la figure partiale BHAI est double de la figure BFAH, la ligne CB sera double de BG, & CG en sera triple; mais le point K étant deux fois plus voisin de G que de D, l'intervalle GD, qui est constant, sera aussi triple de GK. En un mot, il y aura toujours même raison, entre KG & KD, qu'entre BG & BC; & il y aura donc aussi même raison entre GK & GD, qu'entre GB & GC; ce qui montre qu'à mesure que le centre de conversion C est plus éloigné du centre de gravité G de la regle, le point K où il faut que la force motrice soit appliquée, est plus proche de l'autre côté du centre de gravité, & qu'il s'en approche précisément en même rapport que le centre de conversion s'en éloigne; de sorte que les deux distances sont toujours en raison réciproque.

CHAPITRE V.

Suite du Chapitre précédent; usage des principes établis ci-devant pour déterminer la quantité du mouvement de conversion que prend un corps exposé à l'action de plusieurs puissances.

I.

LES principes que nous venons d'établir étant admis, il est facile de prévoir toutes les particularités du mouvement d'une regle qui est sujette à l'action de deux ou d'un plus grand nombre de puissances. Imaginons-nous Fig. 96. la regle AB (Fig. 96) poussée en même tems en A par un agent qui s'exerce selon la direction A*a*, & en D par un autre agent qui s'exerce selon DE. On sçait que c'est la même chose quant à l'effet ultérieur, lorsqu'un corps *est*

exposé à l'action de plusieurs puissances, de supposer que ce corps a été mu par la diagonale qui est la direction composée de toutes ces puissances, ou de supposer qu'il a cede successivement à chaque impression particuliere l'une après l'autre, & qu'on trouve toujours qu'il est parvenu dans le même point. Ainsi quoique les deux actions dont il s'agit ici soient simultanées, nous pouvons les considerer chacune à part, sans qu'il importe laquelle nous examinions la premiere. Je dis donc que la puissance appliquée en A fera tourner la regle sur un certain point C, dont la situation dépendra de la distance AG de la puissance A au centre de gravité G, & que le chemin Gg que parcourera ce même centre de gravité, sera proportionnel à la force absolue de la puissance A, parce que ce chemin représente, comme nous l'avons dit, le mouvement total que reçoit la regle. Plus ce chemin sera grand, plus l'angle de conversion ACa le sera aussi: mais la grandeur de ce même angle dépend en même tems de la distance CG du centre de conversion C au centre de gravité G. Si cette distance est deux ou trois fois plus petite, tout le reste étant égal, l'angle de conversion sera deux ou trois fois plus grand; de sorte que l'angle de conversion qui suit la raison inverse de CG, suit la raison directe de GA. Or il suit de là, en considérant tout, que cet angle est proportionnel au produit du chemin Gg du centre de gravité par GA, ou ce qui revient au même, qu'il est comme le produit de la puissance A par sa distance GA au centre de gravité G. C'est-à-dire, que nous avons ce théoreme très-digne de remarque, que *la grandeur de l'angle de conversion d'une regle poussée perpendiculairement à sa longueur, ou que la quantité de son détour est toujours proportionnelle au moment de la puissance par rapport au centre de gravité de cette regle, sans qu'il importe sur quel point la regle tourne ni par quel endroit elle soit poussée.*

Fig. 95

Mais aussi-tôt que la regle AB a été transportée en ab par l'effort de la premiere puissance, elle doit sortir de

Fig. 96. cette situation par l'effort de l'autre qui est appliqué en D ou en *d* & qui agit selon *d*E. Plus cette seconde puissance sera voisine du centre de gravité G ou g, plus elle fera tourner la regle ab sur un point *c* éloigné; & conformement à ce que nous avons déja dit, le centre de gravité g doit parcourir dans ce second moment un chemin *gg*, proportionnel à la force absolue de la seconde puissance. Ainsi si cette seconde puissance est parfaitement égale à la premiere, le centre de gravité ne sera autre chose que revenir dans la premiere place G; & il arrivera donc que la regle n'aura tourné que sur ce point. Car on voit assez que les autres centres de conversion C & *c* ne sont que fictices & qu'ils ne doivent leur origine qu'à la distinction d'ordre que nous feignons pour notre commodité entre les actions des deux puissances, quoiqu'elles soient parfaitement simultanées. Mais si la seconde puissance qui agit selon *d*E a plus de force absolue que la premiere qui agit selon Aa, le centre de gravité g sera transporté plus loin que G, il sera porté jusqu'en *g*, & la regle ab se trouvera située en *ab*; de sorte que l'action mutuelle des deux puissances aura fait passer la regle AB en *ab*, & l'aura par conséquent fait tourner réellement sur le centre de conversion F.

Ainsi l'angle vraie de conversion, celui qui résulte des deux actions réunies & qui en est l'effet ultérieur, est l'angle AF*a* ou BF*b*, lequel, comme on le voit, est la différence des deux angles de conversion ACa & a*ca* que causeroient séparément les deux puissances. Mais par la même raison que le premier angle de conversion ACa est proportionnel au moment de l'agent A, ou au produit de sa force absolue par sa distance GA au centre de gravité G, le second angle a*ca* est proportionnel au moment de la seconde puissance, ou au moment de sa force absolue par la distance *d*g ou DG au centre de gravité de la regle; & de là il suit que l'angle réel AF*a* de conversion, celui qui est produit par la concomitance des deux puissances, est proportionnel (parce que ces deux puissances agissent en

sen-

sens contraire) à l'excès d'un moment sur l'autre. Supposé que nous nommions A une des puissances & D l'autre, l'angle réel de conversion sera donc proportionnel à $A \times AG - D \times DG$; & cet angle sera positif ou négatif, selon la maniere dont l'excès du premier moment sur le second, sera affecté. Si le premier moment est réellement plus grand que le second, la premiere puissance vaincra la seconde & le mouvement se fera comme il est représenté dans la figure 96. Si les deux momens sont égaux, l'angle réel de conversion sera nul; de sorte que les deux différentes situations AB & *ab* seront exactement paralleles, comme dans la figure 97, & la verge qui aura changé de place, n'aura pas tourné. Enfin si le moment de la premiere puissance est moindre que celui de la seconde, l'angle de conversion sera négatif; la premiere puissance sera vaincue par la seconde, & l'effort des deux aura fait passer la regle AB dans la situation *ab*, comme le représente la figure 98.

Fig. 96.

II.

On voit assez que c'est ordinairement le premier de ces trois cas que nous devons rechercher. Car la premiere puissance, celle qui est appliquée en A ; représente les voiles de l'avant, pendant que la seconde puissance, celle qui agit selon DE, représente le choc de l'eau sur la proue, produit par la vîtesse du sillage ; & le plus grand inconvenient qu'on a presque toujours à craindre dans les navires qui ne gouvernent pas, c'est que l'effort des voiles de l'avant ne soit pas capable de surmonter le choc de l'eau, lorsqu'il s'agit de faire tourner le navire. Mais rien n'empêchera maintenant de reconnoître avec une extrême facilité, les bonnes ou les mauvaises qualités qu'auront à cet égard tous les vaisseaux qu'on se propose de construire : il n'y aura qu'à examiner combien un des momens est plus grand que l'autre par rapport au centre de gravité. Il étoit assez facile de soupçonner que ce moyen devoit servir, lorsque le centre de conversion ne differe pas du centre de gravité;

Fig. 98. ce qu'il y a de particulier, c'est qu'il a également lieu, lorsque le mouvement se fait sur tout autre point.

Supposé que le vaisseau de la figure 67 single à toutes voiles, on pourra représenter l'effort du vent par l'étendue même des voiles; & cette même étendue représentera aussi la force du choc de l'eau sur la proue, qui s'exerce selon FC; puisque les efforts du vent & de l'eau, selon le sens horisontal, sont parfaitement égaux. Si après cela on supprime une des voiles, & qu'il soit question de savoir si le navire obéira avec promptitude à l'effort des autres voiles, on pourroit décomposer les forces, & chercher les parties qui agissent dans le seul sens perpendiculaire à la quille; mais cela n'est pas nécessaire. Continuant à exprimer le choc de l'eau sur la proue par l'étendue qu'avoient toutes les voiles, il n'y aura qu'à multiplier cette étendue par la distance GC du centre de gravité G du navire à la direction FC du choc, & on aura le moment de ce choc. On trouvera de la même maniere le moment de l'effort des voiles qui servent; & on verra de cette sorte dans tous les cas imaginables laquelle des impulsions doit dominer.

Si l'étendue des voiles avec lesquelles le vaisseau *faisoit* route, étoit par exemple, de 20000 pieds quarrés, & que la direction CF de leur effort passât à 30 pieds de distance du centre de gravité G, on aura 600000 pour leur moment, ou pour celui du choc de l'eau contre la proue, qui est précisément le même. Pour peu ensuite qu'on diminue l'étendue des voiles de la poupe, la force relative avec laquelle les autres voiles travailleront à faire tourner le navire ne pourra pas manquer de se trouver plus grande, puisque le moment de la partie supprimée tendoit à produire un effet contraire. Il étoit négatif, aussi-tôt que cette partie étoit en arriere du centre de gravité du vaisseau; ainsi la retrancher, c'est la même chose que si on l'ajoutoit en avant. Mais on apprendra, en multipliant par leur distance au centre de gravité l'étendue des voiles actuellement déployées, si leur moment est effectivement plus grand d'une quantité assez considérable. Supposé que l'étendue

des voiles de la poupe qu'on a ferrées soit de 3000 pieds, & que la direction composée ou moyenne des autres qui auront 17000 pieds de surface, ne se trouvât éloignée que de 36 pieds du centre G, leur moment ne seroit que de 612000; & le moindre obstacle, comme une mer un peu agitée, ou une legere diminution, mais subite dans la force du vent, seroit cause tous les jours que ces dernieres voiles ne réussiroient pas à vaincre le choc de l'eau, dont le moment seroit de 600000. On concluroit donc que dans le partage qu'on a fait entre les proprietés que doit avoir le vaisseau, on a trop accordé à l'avantage de marcher avec vîtesse, au préjudice de celui de gouverner avec facilité. Pour corriger ce défaut, il faudroit mettre encore quelques voiles vers la proue dont on se serviroit dans l'occasion; ou si la chose n'étoit pas possible, & que le vaisseau ne fût que projetté, il faudroit, conformément à ce qu'on a vu dans les Chapitres précédens, porter un peu plus vers l'avant la plus grande largeur de la carene.

Fig. 97.

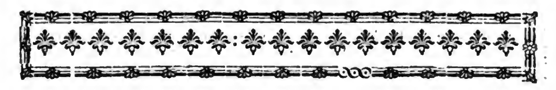
III.

Nous n'avons pas besoin dans cette recherche de savoir sur quel point doit tourner le navire, mais on nous pardonnera sans doute cette curiosité. Si l'angle réel AF*a* (fig. 96 & 98.) de conversion étoit égal à l'angle de conversion ACa, que causeroit la premiere puissance si elle étoit seule, les triangles GC*g* & GF*g* seroient semblables, & nous aurions cette analogie Gg | G*g* || GC | GF; ou, en mettant à la place de Gg & de G*g*, la premiere puissance A, & son excès A — D sur la seconde, qui sont en même rapport, nous aurons A | A — D || GC | GF; de sorte que GF seroit égale à $\frac{A-D}{A} \times$ GC. Mais puisque les angles en C & en F ne sont point égaux, la quantité $\frac{A-D}{A} \times$ G ne doit point être la juste valeur de GF; mais celle de G*f* interceptée entre le centre de gravité G & une ligne droite *gf* parallele à b a qui passeroit par le point *g*. Et à l'égard

Fig. 96 & 98.

de CF elle doit être plus grande ou plus petite, selon que l'angle en F est plus petit ou plus grand que l'angle f ou que l'angle C; c'est-à-dire, que Gf & GF sont en raison réciproque des angles f & F, ou C & F. Ainsi nous n'aurons qu'à faire cette seconde analogie, en mettant à la place des angles dont il s'agit, les momens qui leur sont proportionnels; l'excès $A \times GA - D \times GD$ du moment de la premiere puissance sur celui de la seconde, est au moment $A \times GA$ de la premiere puissance, comme la quantité $\frac{A - D}{A} \times GC$ ou Gf, est à GF, qui se trouve égale à $\frac{A - D}{A \times GA - D \times GD} \times GA \times GC$: de sorte que pour trouver immédiatement la distance FG du centre de gravité G au centre réel de conversion, il n'y a qu'à faire cette unique proportion; la différence des momens des deux puissances est à la différence même de ces puissances, comme le rectangle de GA & de l'intervalle GC (compris entre le centre de gravité G & le point C où seroit le centre de conversion, si la regle n'étoit mue que par la premiere puissance), est à la distance GF du centre de gravité au vrai centre de conversion F. On peut faire sur cette valeur $\frac{A - D}{A \times CA - D \times GD} \times GA \times GC$ de GF différentes remarques que nous supprimons, pour ne pas allonger davantage ce chapitre ni cette section, & pour passer plus promptement à l'examen du vaisseau par rapport à la mâture.





QUATRIEME SECTION.

Où l'on examine le vaiſſeau par rapport à la qualité qu'il doit avoir de bien porter la voile, ou de recevoir une voilure avantageuſe.

CHAPITRE PREMIER.

De l'effort mutuel vertical que forment enſemble les impulſions du vent ſur les voiles, & de l'eau ſur la proue.

I.

IL ſuffit pour réſoudre les problêmes de manœuvre, de même que toutes les queſtions que nous venons de diſcuter, d'avoir égard aux efforts du vent & de l'eau réduits au ſens horiſontal; parce que ce ſont ces ſeuls efforts relatifs qui contribuent au ſillage & qui font paſſer le navire d'une route à l'autre. Ce n'eſt plus la même choſe auſſitôt qu'il s'agit de la diſpoſition de la mâture & de la ſituation inclinée ou horiſontale que peut prendre le vaiſſeau: on eſt obligé de conſiderer les forces abſolues des chocs de l'eau & du vent dans leur état actuel, & de ſe livrer à la difficulté entiere que renferme un ſemblable examen. Comme la proue AE (fig. 99.) a toujours quelque ſaillie, Fig. 99.

Fig. 99. ou qu'elle est inclinée en avant, de même que le flanc du navire, elle ne peut pas être poussée par le choc de l'eau dans le sens horisontal, sans l'être en même tems dans le vertical ; c'est-à-dire que l'eau par son choc fait non-seulement effort pour pousser la proue en arriere, mais aussi pour l'élever. Elle la pousse selon une direction DH, dont la situation dépend de la courbure de la proue & de sa saillie ; & l'impulsion relative verticale peut se trouver plus grande ou plus petite que l'horisontale dans toutes sortes de rapports. D'un autre côté, quoique le vent se meuve toujours à peu près parallelement à l'horison, il ne pousse néanmoins la voile LM que selon la perpendiculaire à sa surface, & si on considere toute l'impulsion réunie dans le milieu I de la voile, elle s'exercera selon une ligne SK qui ne sera peut-être pas horisontale. Il faut encore ajouter que ces impulsions du vent sur la voile & de l'eau sur la proue ne sont pas égales, lorsqu'on les considere absolument, quoique le navire soit parvenu à son mouvement uniforme : l'égalité ne subsiste seulement qu'entre les parties de ces forces qui agissent selon la détermination horisontale, & qui contribuent au mouvement du sillage.

II.

Les deux directions DH & SK se coupent en N ; & il est évident que ce que les forces ont d'égal & de contraire doit se détruire entierement dans ce point, à cause de la parfaite opposition qui s'y trouve ; & qu'il ne doit rester que les seules forces verticales qui s'exercent sur la direction commune NT. Il n'importe en quel endroit de sa direction on suppose qu'est appliquée une puissance, si l'espace NR représente l'impulsion absolue de l'eau sur la proue, selon la direction DH ; & NP celle du vent sur la voile, selon la direction SK, & qu'on acheve le parallelograme PNRT, sa diagonale NT marquera, conformément aux regles de la composition des mouvemens, la direction & la quantité de l'effort mutuel qui résultera de

la réunion de ces deux puiſſances : c'eſt à l'effort commun NT qu'elles ſe réduiront, après la deſtruction de tout ce qu'elles auront de forces égales & contraires ; & cet effort commun doit être exactement vertical, puiſqu'il n'eſt formé que des ſeules forces relatives verticales, qui au lieu de ſe détruire, ſe joignent preſque toujours enſemble. Ainſi les impulſions du vent & de l'eau, qui pouroient ſeules altérer la vîteſſe du ſillage, ne conſpirent alors qu'à ſoulever le navire ou à le tirer verticalement en haut; pendant qu'il eſt tranſporté par ſon propre mouvement, ou par ſon mouvement intrinſeque déja acquis.

Fig. 99.

III.

Dans les premiers inſtans du ſillage, l'impulſion du vent ſur la voile eſt fort grande, & l'impulſion au contraire de l'eau ſur la proue eſt fort petite. L'eſpace Np repréſente, par exemple, la premiere force, & Nr la ſeconde ; & l'effort compoſé des deux eſt marqué par Nt qui s'exerçant ſur une direction inclinée en avant, nous apprend que le choc de l'eau ſur la proue n'a pas alors aſſez de force relative horiſontale, pour ſuſpendre tout l'effet de l'impulſion du vent ſur la voile, & que la vîteſſe de la marche doit s'accelerer, puiſque le vaiſſeau eſt tiré en avant. Le ſillage devenant plus rapide, le vent atteindra enſuite les voiles avec moins d'impetuoſité, & la proue éprouvera au contraire plus de réſiſtance de la part de l'eau; cette réſiſtance ſera repréſentée par NR, pendant que l'impulſion du vent le ſera par NP ; & l'effort commun ou mutuel NT, qui réſultera de la réunion de ces deux puiſſances, agiſſant ſur une direction NT plus approchante d'être vercale, travaillera encore à faire accelerer le ſillage, mais avec moins de force. Nous ne nous arrêtons pas à démontrer, parce que cela n'importe pas à notre ſujet, que le lieu géometrique de tous les points t, T, T qui terminent les efforts compoſés Nt, NT, &c. eſt une parabole qui a les deux direction SK & DH pour tangentes.

Fig. 99. Mais enfin, l'effort commun ou mutuel s'exercera successivement sur une infinité de diverses directions N*t*, N*T*, de moins en moins inclinées, jusqu'à ce que la direction devenue tout-à-fait verticale, & l'effort mutuel NT ne tirant plus en avant, le mouvement du sillage ne s'accelere plus & reste dans un état permanent. Pour le dire encore une fois, les deux impulsions du vent & de l'eau agissent ensemble sur le navire, & l'effort vertical NT, au lieu de les représenter chacune séparement, marque leur action commune. C'est pourquoi, au lieu d'examiner les effets particuliers que chaque de ces puissances est capable de produire, nous n'aurons désormais qu'à avoir égard au seul effort vertical NT qui naît de l'addition de forces relatives verticales, après la destruction des forces relatives horisontales qui sont égales & contraires. Ce sera toujours précisément la même chose, mais nous ne serons point obligés de partager notre attention entre tant d'objets, & l'examen deviendra plus simple.

IV.

Au reste, il ne sera pas difficile de déterminer la quantité de cet effort mutuel vertical, aussi-tôt qu'on connoîtra la situation des directions DH & SK sur lesquelles s'exercent les deux impulsions particulieres qui le forment. Dans le triangle PNT les trois angles sont donnés : & on sçaura toujours aisément par l'Anémometre la force totale exprimée par NP du choc du vent sur la voile. Il n'y aura donc que cette simple analogie à faire ; le sinus de l'angle PTN, égal à l'angle TNR fait par la direction du choc de l'eau & par la verticale, est à l'impulsion NP du vent sur la voile, comme le sinus de l'angle P, égal à l'angle RNS que font ensemble les directions des impulsions du vent & de l'eau, est à l'effort requis NR. Supposé que l'étendue des voiles exposées au choc soit de 15474 pieds quarrés, comme dans le vaisseau du premier rang, que nous avons consideré dans le premier chapitre de la seconde section,

&

&c que l'impulsion du vent sur chaque pied soit de six livres, l'impulsion totale sera de 92844 livres ; & si la direction SK est horisontale, & que celle DH du choc de l'eau sur la proue fasse un angle de 48 $\frac{1}{3}$ degrés avec l'horison, comme cela se trouvera à-peu-près dans nos vaisseaux, & comme cela arriveroit tout-à-fait exactement si la proue étoit sphérique, mais qu'elle n'enfonçât dans l'eau que la moitié de son rayon vertical, on trouvera que l'effort mutuel NT est de 104328 livres, ou d'un peu plus de 52 tonneaux. C'est cet unique effort qui résulte de l'assemblage des chocs du vent & de l'eau, & qui représente toute leur action. Fig. 99.

Nous pouvons sans doute nous dispenser d'expliquer comment il se peut faire que pendant que l'impulsion du vent, qui est la premiere cause du mouvement du navire & de tout ce qui en résulte, n'est que de 92844 livres, l'effort mutuel vertical NT est néanmoins de 104328 livres : la composition & la communication des mouvemens offrent plusieurs phenomenes semblables connus de tous les méchaniciens. D'ailleurs il est évident que le vaisseau étant poussé avec une force de 92844 livres, doit aller choquer l'eau avec une plus grande vîtesse, jusqu'à ce qu'il en soit repoussé dans le sens horisontal avec une force exactement égale. Mais de ce même choc, il doit naître nécessairement une impulsion verticale qui sera plus ou moins grande, selon que la proue sera plus ou moins inclinée ; & c'est principalement cette derniere force, parce qu'il n'y a rien qui puisse la détruire, qui forme l'effort vertical NT, & qui pourroit le rendre, non pas une ou deux fois plus grand, mais dix & vingt fois, si la proue avoit beaucoup plus de saillie.



CHAPITRE II.

Des différentes situations que l'effort mutuel vertical des chocs du vent sur les voiles & de l'eau sur la proue, fait prendre au navire; & des conditions de la mâture parfaite.

SI l'on examine maintenant les effets que cet effort NT est capable de produire en tirant continuellement le navire en haut, on verra qu'il en peut causer deux très-différens. Le premier de soulever le navire ou de le faire un peu sortir de l'eau; & le second de produire quelque inclinaison vers la proue ou vers la poupe, selon l'endroit du vaisseau auquel il est appliqué.

I.

Le navire étant continuellement tiré en haut, sa pesanteur doit être comme diminuée : & la poussée verticale de l'eau étant ensuite trop grande, le navire doit s'élever. L'effort mutuel NT agit avec une force de 104328 livres ou de 52 tonneaux, c'est autant à retrancher sur le poids total; & la poussée de l'eau étant déchargée de tout ce fardeau, le navire ne doit plus occuper un si grand espace dans la mer; il doit en sortir assez pour que le volume d'eau déplacée par sa carene, soit moindre de 52 tonneaux, ou d'environ 1456 pieds cubiques. Il est évident que cet effet est physiquement nécessaire; & il est également clair que la partie de la carene qui s'éleve, & qu'on peut nommer la partie *non-submergée*, doit avoir même rapport à toute la carene, que l'effort vertical NT à toute la pesanteur du vaisseau; c'est-à-dire, que si tout le poids du navire est exprimé par la solidité entiere de la carene ABFE, la partie *non-submergée* AB*ba* représen-

Fig. 99.

tera l'effort mutuel NT, pendant que la partie submergée *abFE* representera la force actuelle de la pousse verticale de l'eau. Au reste cette élevation du navire peut se negliger dans diverses rencontres : car comme la coupe horisontale du navire faite à fleur d'eau a beaucoup d'étendue, il suffit que la carene s'éleve très-peu, pour que la partie qui sort de l'eau acquiere la solidité qu'elle doit avoir. Cette partie n'aura jamais que 4 ou 5 pouces d'épaisseur, dans le tems même que le vent aura le plus de rapidité, & qu'on donnera aux voiles le plus de surface.

Fig. 99.

II.

Mais en même tems que l'effort NT souleve le vaisseau, il peut le faire incliner, & porter même l'inclinaison si loin, qu'il n'y ait pas de sûreté pour les marins. Ce second effet, qui n'est pas nécessaire comme le premier, doit principalement varier selon les diverses applications de l'effort dont nous parlons, par rapport au centre de gravité du navire. * Lorsque la mâture est fort haute, la di-

* L'Auteur dont j'ai parlé dans la seconde partie de la note de la page 387, a mis à la fin de son Livre l'extrait de deux lettres anonymes, dans lesquelles on se déclare pour un autre avis sur le point du navire qu'il faut prendre pour hypomoclion. On m'objecte la théorie qu'a donné M. Bernoulli sur le point qu'il nomme *centrum spontaneum rotationis* N. 177. du quatrieme tome de ses Œuvres ; j'avoue que l'autorité de M. Bernoulli est si grande en Mathématiques, que je croirois m'être trompé, si je l'avois contre moi, malgré toutes les raisons sur lesquelles mon sentiment est fondé. Mais outre que j'ai reconnu avec plaisir que j'étois parfaitement d'accord avec ce célebre Mathématicien dans plusieurs recherches qui nous sont communes, quoique nous soyons venus aux mêmes résultats par des chemins très-différens, le Lecteur doit remarquer qu'il ne s'agit nullement ici d'oscillations ou de balancemens, & qu'il n'en étoit pas plus question dans mon Traité de la mâture, ou je ne parlois de changemens de situations de la part du navire, que pour tâcher de les prevenir. Lorsque le vaisseau est exposé à l'action de plusieurs puissances, c'est à-peu-près le même cas que si plusieurs personnes tiroient une regle ou un bâton par différens endroits & selon différentes directions. On sçait bien que cette regle peut changer de situation sur une infinité de différens points, mais il n'en est nullement question lorsqu'on veut que la regle ne tourne pas ; & il suffit pour cela qu'il y ait un équilibre parfait entre les efforts de toutes les personnes qui agissent ensemble. C'est ce que je tâche de faire aussi à l'égard du vaisseau. Mais ce qui étonnera, peut-être, l'Auteur anonyme des deux lettres, c'est que quoique je ne dusse pas penser au centre de rotation, & que je prenne toujours le centre de gravité du navire pour point d'appui, lorsque je considere chaque

Fig. 99. rection SK de la voile coupera la direction DH du choc de l'eau dans un point N beaucoup plus élevé & plus en arriere, & la direction VT de l'effort NT étant appliquée vers la poupe, soulevera cette partie & fera par conséquent enfoncer en même tems la proue dans l'eau. Ce sera tout le contraire si la mâture a trop peu de hauteur, & que la direction SK de l'effort du vent coupe la direction du choc de l'eau dans un point N beaucoup plus bas : l'effort mutuel NT soulevera alors le navire par l'avant & fera caler la poupe. Il arrivera à-peu-près la même chose qu'à une piece de bois qu'on éleve par une de ses extrémités, au lieu de l'élever par le milieu : un de ses bouts reste à terre, pendant qu'on fait monter l'autre.

Le vaisseau portera l'inclinaison dans ces deux différens cas, jusqu'à ce que la poussée de l'eau soit en état de l'empêcher d'aller plus loin. Le navire ne peut pas perdre sa situation horisontale sans que le centre de gravité de la partie submergée, dans lequel se réunit la poussée verticale de l'eau, ne change de place & avance du côté de l'inclinaison; ce qui fait que cette force, quoique la même, se trouve ensuite appliquée à un bras de levier plus long, & qu'acquerant un plus grand moment, elle se trouve plus en état de s'opposer à l'inclinaison. C'est surtout dans les routes obliques que l'inclinaison va fort loin, & on n'a que trop d'exemples où elle a été poussée jusqu'au point de faire verser le vaisseau. La figure 100 représente un navire qui touche, pour ainsi dire, à ce fu-

effort à part, je n'introduis cependant pas moins l'équilibre par rapport au centre de rotation prétendue ou même par rapport au centre de la terre, que par rapport au centre de gravité du navire. La raison en est évidente à tous les Lecteurs un peu versés dans les méchaniques. On rend ici l'équilibre parfait; c'est-à-dire, qu'on le rend tel, que généralement tous les efforts se détruisent mutuellement par leur égalité & leur opposition. L'effort du vent contre les voiles, la résistance qu'éprouve la proue, la poussée verticale de l'eau, la pesanteur même du navire, toutes ces forces suspendent réciproquement leur effet : ainsi elles sont en équilibre à l'égard de tous les points imaginables. Supposé que le reste des deux lettres soit susceptible de quelqu'autre sens, car je ne me flatte pas de les bien entendre, je crois néanmoins que cette seule réponse doit suffire.

Fig. 99.

neſte état : l'effort mutuel NT des chocs du vent & de l'eau tend à le faire coucher davantage, & il n'y a que la pouſſée verticale de l'eau qui ſe réunit dans le centre de gravité Γ de la partie ſubmergée *aEb*, qui puiſſe le relever, ou l'empêcher au moins de porter l'inclinaiſon plus loin.

C'eſt en un mot l'équilibre de part & d'autre du centre de gravité g du navire, entre la pouſſée verticale de l'eau & l'effort mutuel vertical NT, qui doit tout décider. Si ces deux forces ſe contrebalancent exactement, ou ſont dans un parfait équilibre, le navire conſerve la même ſituation ; au lieu que ſi la pouſſée verticale de l'eau qui s'exerce ſelon ΓZ, n'eſt pas aſſez puiſſante, & ſi le navire en s'inclinant encore, cette force quoiqu'appliquée à un bras de levier plus long, n'acquiert pas un aſſez grand moment; le péril eſt inévitable, il n'y a plus de ſalut. Enfin ce n'eſt toujours que lorſque la mâture a une hauteur moyenne, & que la direction SK (Fig. 99.) de l'effort du vent paſſe exactement par un certain point N que nous avons nommé *vélique* dans le Traité de la mâture, que le navire ne perd point du tout ſon niveau. Alors l'effort mutuel vertical NT n'eſt appliqué ni trop vers la poupe ni trop vers la proue, & ne s'occupe qu'à faire ſortir le navire de l'eau par-tout également.

III.

Pour déterminer le point *vélique*, ou ce point N duquel dépend la perfection de la mâture, il n'y a qu'à élever du centre de gravité γ (Fig. 99.) de la coupe horiſontale de la carene faite à fleur d'eau une verticale VT, & l'interſection N de cette ligne & de la direction DH du choc de l'eau ſur la proue, ſera le point requis, ou le point par lequel on doit faire paſſer la direction SK de l'effort du vent. Comme la tranche AB*ba* de la carene qui s'éleve de l'eau, lorſque le vent a même le plus de force, n'a que très-peu d'épaiſſeur, ſon centre de gravité γ ne differe point de celui d'une ſurface

plane de même étendue, tant que le navire conserve sa situation horisontale. Ainsi il suffit de faire passer la direction de l'effort de la voile par le point N, pour que l'effort mutuel vertical NT soit comme appliqué au centre de gravité γ de la partie non-submergée AB*ba* de la carene. Mais aussi-tôt que cette condition est remplie, l'effort mutuel NT ne peut plus faire incliner le navire; parce que la poussée verticale de l'eau qui se réunit dans le centre de gravité Γ, non pas de toute la carene, mais de la partie submergée *ab*FE, se trouve située de l'autre côté du centre de gravité du vaisseau, & s'oppose à l'inclinaison aussi efficacement que l'effort mutuel vertical NT y travaille.

Fig. 99.

Il est clair en effet, que puisque ces deux forces ont entr'elles le même rapport que les deux parties submergée & non-submergée de la carene considerées comme homogenes, & qu'elles sont outre cela appliquées au centre de gravité Γ & γ de ces mêmes parties, elles doivent être en équilibre autour du centre de gravité g de toute la carene; de même que les deux parties le sont. Cela ne fait rien à l'équilibre que la poussée verticale de l'eau selon ΓZ & l'effort composé NT s'exercent de bas en haut; au lieu que les pesanteurs des deux parties *ab*FE & AB*ba* tendent en bas. Mais aussi-tôt que les deux puissances qui pourroient alterer la situation horisontale se contrebalancent parfaitement de part & d'autre du centre de gravité g de la carene, elles doivent le faire également autour de tous les autres points qui sont précisement au-dessus ou au-dessous dans la même verticale; & l'équilibre doit donc subsister par rapport au centre de gravité du vaisseau.

IV.

Ce n'est pas ici le lieu d'en dire davantage sur une matiere dont nous avons traité expressément. Nous nous contenterons d'ajouter, que lorsque la maxime que nous venons d'expliquer est exactement observée, ou que le centre d'effort du vent répond vis-à-vis du *point vélique*, on peut

ſans riſque donner aux voiles quelle étendue on veut, à cauſe de la bonne qualité que le vaiſſeau contracte, de s'élever de l'eau ſans perdre ſa ſituation horiſontale ; qualité dont il n'eſt pas capable, lorſque ſa mâture a tout autre diſpoſition. Toutes les puiſſances qui agiſſent ſur lui, ne font alors que le tirer en haut avec plus ou moins de force, & ne font que le ſoulever plus ou moins. Si le vent devient plus rapide, s'il devient tout-à-fait violent, le navire ſinglera plus vîte, le choc de l'eau ſur la proue augmentera, & l'effort mutuel NT, qui deviendra plus grand, fera ſortir de l'eau une plus grande partie de la carene, une partie qui aura peut-être 4 ou 5 pouces d'épaiſſeur : mais comme l'effort NT ſera toujours appliqué ſenſiblement au centre de gravité de cette partie, l'équilibre néceſſaire pour entretenir la ſituation horiſontale, ne ſera nullement alteré. Le navire enfin ſera, pour ainſi dire, plus leger, lorſque le vent deviendra plus fort, ou lorſque les vagues frapperont ſa proue avec plus de violence ; & on le verra toujours marcher avec la plus grande rapidité poſſible, ſans qu'il ſoit expoſé à aucun péril.

Fig. 99.

Mais on perdra tous les avantages dont nous venons de parler, ſi on donne à la mâture plus ou moins de hauteur : on aura tout à craindre de la trop grande étendue des voiles, ſi on tombe dans le premier défaut; on ſera ſouvent aſſujetti à les ſerrer, lorſqu'il ſeroit tout-à-fait néceſſaire de les étendre, pour pouvoir en dérivant moins, s'élever d'une côte, ou doubler un cap, ou éviter un écueil. C'eſt un grand inconvénient dans ces rencontres de ne pouvoir pas porter aſſez de voiles. Car l'impulſion que ſouffre toute la partie d'en haut du flanc du navire, devient conſiderable par rapport à l'impulſion totale du vent. Cette impulſion que reçoit le flanc du navire ſe trouve dominante, vu le peu d'étendue des voiles ; & comme elle ne s'exerce guere que dans le ſens latéral, ou dans le ſens perpendiculaire à la quille, elle n'eſt capable que du mauvais effet de faire augmenter extrémement la dérive, ſans que les voiles qui pouſſent peu dans le ſens de la route, puiſſent

s'y oppoſer, comme les marins ne l'éprouvent que trop ſouvent. Le navire outre cela, au lieu de ſortir de l'eau par-tout également, au lieu d'être *leger aux lames*, deviendra peſant, s'inclinera d'un côté ou d'autre; & on ſera tout étonné de le voir conformément à ce que nous avons expliqué ci-devant *, ſingler plus lentement dans le tems même qu'on s'expoſera aux plus grands périls & qu'on hazardera tout, pour le faire aller plus vîte. Enfin nous dirions que c'eſt preſque un égal défaut de donner trop peu de hauteur à la mâture que de lui en donner trop, ſi ce n'eſt que dans l'état actuel où ſont les choſes, on eſt fort éloigné du terme moyen dans lequel conſiſte la perfection, & qu'il n'y a point d'inconvénient à diminuer le plus qu'on pourra la hauteur qu'on donne aujourd'hui à toutes les voiles.

* Voyez la fin du premier chap. de la 2. ſection.

Une infinité d'expériences prouvent la même choſe; nous avons déja rapporté dans le premier livre des faits ſur cela qui ſont de notorieté publique, & qui ſont démonſtratifs; & on me permettra ſans doute d'en alléguer encore un autre qui m'intereſſe, il eſt vrai, mais qui intereſſant encore plus le Public, ne doit pas être ſupprimé. C'eſt l'eſſai que fit il y a quelques années feu M. de Radouay, en diminuant tout d'un coup de 45 pieds la hauteur de la mâture d'un navire du troiſieme rang **: eſſai qui réuſſit dans le voyage de la mer Baltique, au-delà de ce qu'on devoit naturellement attendre d'une premiere tentative. Il avoit fallu des ſiecles entiers, & faire un infinité de divers changemens pour porter dans la marine les choſes dans l'état où on les voit : au lieu que M. de Radouay, ſans autre épreuve, & par une obſervation ſeulement approchée des maximes qu'on vient d'expoſer, mais aidé auſſi par une pratique éclairée & par une connoiſſance particuliere de la mer, ſaiſit d'abord la diſpoſition propre à ce vaiſſeau, que les regles qu'on reſpecte ſi fort & qui ſont le fruit d'un ſi long tâtonnement, n'avoient pas empêché juſques-là d'être mauvais voilier. Peut-être cependant que la tyrannie de l'habitude ſera toujours la plus forte,

** Le vaiſſeau du Roi le Fleuron.

forte, & qu'on persistera encore à suivre un usage, dont on ne sent que trop les défauts. Ce que nous pouvons donc faire de plus, c'est d'indiquer & de retrancher tout ce que les regles ordinaires ont de dangereux, & de faire ensorte par les restrictions que nous leur mettrons, qu'elles ne puissent plus causer d'accidens.

CHAPITRE III.

Principe général pour déterminer la plus grande hauteur qu'on peut donner sans risque à la mâture ; avec quelques remarques sur la force qu'ont les vaisseaux de divers rangs, pour porter la voile.

I.

NOus n'avons pour cela qu'à prendre pour limite la plus grande hauteur qu'on peut donner à la mâture, sans s'exposer au risque de verser, lorsque le vent a le plus de force. La théorie que nous venons d'établir nous met en état de résoudre facilement ce problême tenté inutilement jusqu'à présent par diverses personnes, depuis que le P. Hoste a vu le premier qu'il étoit utile d'y penser.

Le vaisseau de la Fig. 100 étant incliné le plus qu'il est possible, nous pouvons trouver aisément le centre de gravité Γ de la partie submergée de la carene, & nous sçaurons combien la verticale ΓZ de ce centre est éloignée du centre de gravité G du navire. Nous devons aussi regarder comme connue la situation de la direction DH du choc de l'eau. Ainsi il n'y a d'indéterminée que la seule situation de la direction SK de la voile qui peut être plus ou moins haute, mais que nous supposons perpendiculaire au mât. Du point où la verticale ΓZ sur laquelle s'exerce la poussée de l'eau, coupe la direction DH, je tire la ligne ZF parallelement à la direction SK de la voile, & j'abaisse les per-

Fig. 100.

Fig. 100. pendiculaires Zi & Zv ſur les directions SK de la voile & VT de l'effort mutuel vertical NT. Du point g, qui eſt l'interſection de EF & de rZ, & qui eſt, comme on le ſçait, le *métacentre*, j'abaiſſe auſſi la perpendiculaire gV ſur VNT.

Puiſque l'effort mutuel vertical NT, auquel ſe réduiſent les chocs du vent & de l'eau, doit ſe contrebalancer exactement de part & d'autre du centre de gravité G, avec la pouſſée verticale de l'eau réunie F, & qui s'exerce ſelon rZ, & que ces deux forces doivent ſoutenir enſemble la peſanteur du vaiſſeau; nous pouvons conſiderer la ligne horiſontale gV comme une ligne inflexible, ou comme un levier à l'extrêmité duquel les deux premieres forces, l'effort NT & la pouſſée verticale de l'eau, ſont appliquées pendant que la peſanteur du navire eſt appliquée en Q, qui répond exactement au-deſſus de G. Il doit y avoir un parfait équilibre entre ces trois puiſſances; c'eſt-à-dire, qu'elles ſuſpendent reciproquement leur effet: & cela eſt cauſe qu'on peut attribuer quelle eſpece on veut au levier gV, ou prendre indifféremment g ou Q, ou même V, pour point d'appui ou pour hypomoclion.

Je mets pour une plus grande facilité ce point en g dans le *métacentre* même; ou ce qui revient à la même choſe, je conſidere le levier comme s'il étoit de la ſeconde eſpece. Nous ſerons de cette ſorte diſpenſés de conſiderer la *pouſſée verticale* de l'eau, qui n'aura d'autre emploi que de rendre fixe l'extrêmité g du levier gV; pendant que la peſanteur du vaiſſeau travaillera à faire deſcendre le point Q, & que l'effort mutuel vertical NT, auquel ſe réduiſent les chocs du vent ſur la voile & de l'eau ſur la proue, ou ſur le flanc de la carene, tendra à faire monter l'extrêmité V. On ne doit point craindre que l'ordre entre les trois puiſſances puiſſe changer; quelque grande que ſoit l'inclinaiſon du navire, pourvu qu'il ne verſe pas, le point Q ſera toujours entre les deux autres g & V. Cela ſuppoſé, nous aurons dans le cas de l'équilibre le moment de la peſanteur totale du navire parfaitement égal au moment de l'effort NT par rapport à l'hypomoclion g. C'eſt-à-dire que ſi P déſigne la

pesanteur totale du vaisseau, nous aurons $P \times gQ = NT \times gV$; le produit de la pesanteur totale P par la distance gQ au point d'appui, parfaitement égal au produit de l'effort NT multiplié par la longueur gV du bras du levier auquel il est appliqué. Fig. 100.

Mais si l'expression du moment de la pesanteur totale du navire est fort simple & ne peut pas l'être davantage, ce n'est pas la même chose de l'autre moment; car outre que l'effort vertical mutuel NT n'est connu que par le moyen des forces primitives qui le composent, on ne parvient encore à déterminer la distance gV que par un assez long circuit. Il seroit donc avantageux de trouver un autre produit; mais plus immédiatement connu, qui étant toujours égal au moment $NT \times gV$, pût lui être substitué. Ce produit se découvre aisément, quand on y fait attention; c'est l'effort même NP du vent sur la voile, multiplié par sa hauteur FI au-dessus du point F ou du point Z, comme on va s'en convaincre.

Il y a même rapport des sinus des angles ZNi ZNv aux côtés opposés Zi & Zv, que du sinus total à ZN; & par conséquent il y a même rapport du sinus du premier angle ZNi à Zi, que du sinus du second angle ZNv à Zv. Et si on remarque que les angles TPN & NTP du triangle PNT sont égaux aux angles ZNi & ZNv, & que les côtés NT & NP sont proportionels aux sinus de ces angles; il s'ensuivra, par égalité de raisons, que Zi ou FI est à Zv ou à gV, comme NT est à NP; & que par conséquent le produit de NT par gV est égal à celui de NP par FI ou par Zi. Il est donc évident qu'au lieu du produit de NT par gV, ou du moment de l'effort vertical mutuel NT par rapport au métacentre g, nous pouvons toujours mettre le produit qui lui est égal de NP par Zi, ou le moment de l'effort actuel NP du vent sur la voile, non pas par rapport au métacentre g, mais par rapport au point F ou au point Z: & puisque le premier produit est égal au moment de la pesanteur totale du vaisseau, le second produit est donc aussi égal à ce moment. C'est-à-

Fig. 100. dire, qu'au lieu de faire consister l'équilibre dans l'égalité des momens, $P \times gQ = NT \times gV$, nous pourrons le faire consister désormais dans l'égalité $P \times gQ = NP \times FI$.

Ainsi nous aurons cette regle qui est générale, qu'*aussitôt que le navire est stable pendant sa navigation, ou que lorsque toutes les puissances, à l'action desquelles il est sujet, se contre-balancent exactement; les momens de la pesanteur totale du vaisseau & de l'effort du vent sur les voiles sont parfaitement égaux (mais par rapport à deux différens points); le moment de la pesanteur du vaisseau par rapport au métacentre* g, *& celui de l'effort du vent par rapport au point* Z, *qui est l'interfection de la direction* DH *& de la verticale* ΓZ. Cette égalité de momens ou de produits est absolument nécessaire; & il faut principalement que le second produit $NP \times Zi$ ne surpasse pas le premier $P \times gQ$: car s'il étoit plus grand, la voile auroit trop de force, & l'inclinaison du navire augmenteroit.

II.

L'utilité de cette regle se présente naturellement; & elle nous met en état de rectifier diverses choses que nous n'avons pas pu rendre assez précises, lorsque nous avons parlé de la mâture dans le premier Livre. On vient de voir que la force qu'a le navire pour porter la voile, dépend de la pesanteur absolue P & de la quantité dont son centre de gravité est au-dessous du métacentre. Car plus le premier de ces points sera au-dessous de l'autre, plus le bras de levier gQ auquel sera appliquée la pesanteur P sera long, & plus le moment $P \times gQ$ sera grand. On vient de voir en second lieu, que l'effort que fait la voile pour faire incliner le navire n'a pour hypomoclion ni le centre de gravité G du navire ni le métacentre g, mais le point Z de la direction DN, lequel est exactement au-dessus ou au-dessous du métacentre dans la même verticale. Ces choses supposées, il ne suffit pas, pour que les maximes que nous avons données dans le premier Livre soient sensiblement exactes, que

les formes extérieures des carenes des navires soient semblables, il faut encore que la distribution intérieure du poids soit la même, afin que le centre de gravité soit situé de la même maniere ou semblablement par rapport au métacentre : ce n'est que lorsque cette condition est observée, que la force relative P×gQ qu'ont les navires pour porter la voile, est comme la quatrieme puissance de leurs dimensions simples. Cette force s'oppose à l'effort de la voile ; & le moment de ce dernier effort est exprimé par le produit de la largeur de la voile par sa hauteur,& par la hauteur de son centre d'effort I au-dessus du point Z. C'est pourquoi, supposant la largeur des voiles proportionnelle à celle du vaisseau, le cube des dimensions simples du navire, ou ce qui revient au même, la pesanteur P doit être proportionnelle, non pas précisément au quarré de la hauteur des voiles, mais au produit de leur hauteur par celle de leur centre d'effort au-dessus du point Z.

Fig. 100.

Il est clair aussi que l'avantage ou le desavantage qu'ont les navires pour porter la voile, dépend principalement de la quantité Gg dont leur centre de gravité est au-dessous du métacentre. Un vaisseau qui ne doit porter qu'une mâture proportionnelle à ses autres parties, n'a pas plus d'avantage qu'un autre. Qu'importe-t-il en effet que les voiles soient deux fois plus hautes & deux fois plus larges, ou qu'elles ayent quatre fois plus d'étendue, si d'un autre côté la surface de la proue, étant quatre fois plus grande, éprouve aussi quatre fois plus de résistance de la part de l'eau ? Le sillage ne sera pas plus rapide. Les regles vulgaires qui rendent la mâture proportionnelle supposent donc que les navires sont tous égaux en cela, ou sans aucune prééminence les uns par rapport aux autres : ce qui arriveroit si la quantité Gg dont leur centre de gravité est au-dessous du métacentre, étoit toujours exactement la même dans les petits & dans les grands. L'effort absolu de la voile étant comme son étendue, ou comme le quarré des dimensions simples du navire, son effort relatif ou son moment qui s'occupe à produire l'inclinaison & qui dé-

Fig. 100. pend encore une autre fois de la hauteur de la mâture, seroit comme le cube ; & ce seroit donc assez pour le contrebalancer, que de la seule pesanteur du navire appliquée toujours à un même bras de levier gQ. Il suit delà que les navires grands ou petits, mais extérieurement semblables, dans lesquels la quantité Gg est la même, ne jouissent d'aucune distinction, & portent également bien la voile. Mais il y a de la différence, aussi-tôt que Gg est plus grande ou plus petite ; puisque la pesanteur P qui étoit déja suffisante par elle-même pour faire équilibre, est appliquée alors à un levier plus ou moins grand ; ce qui oblige de rendre la mâture plus grande ou plus petite que la proportionnelle.

Il ne tient qu'aux Marins de ne pas priver les plus grands vaisseaux de cette propriété particuliere, de mieux porter la voile dont ils devroient jouir. Ils n'ont qu'à ne pas entasser un si grand nombre de ponts les uns sur les autres, ni les charger outre cela d'une si pesante artillerie ; ce qui est cause que le centre commun de gravité G se trouve trop haut, & vient presque se placer dans le métacentre même. Des navires de la grandeur de ceux qu'on nomme du premier rang, construits à tous égards & équipés comme les frégates, feroient sentir l'extrême avantage qu'ils recevroient de leur grandeur ; & comme ils pourroient porter plus de voiles qu'ils ne font actuellement, ils singleroient beaucoup plus vîte, en même tems qu'ils se comporteroient beaucoup mieux. Lorsque le vent deviendroit plus fort ou plus foible, le grand vaisseau mériteroit encore la préférence, sans que la plus grande résistance de l'eau contre sa proue y fût un obstacle, puisque sa mâture & l'impulsion du vent seroient toujours plus grandes à proportion. Malheureusement les hommes n'ont pas eu en vue, lorsqu'ils ont construit de plus grands vaisseaux, tous ces avantages qui étoient si naturels & si légitimes ; ils n'y ont au contraire renoncé que trop expressément, pour se détruire d'une maniere plus infaillible.

Cependant je crois que l'avantage augmente réellement

lorsqu'on passe des petits navires aux plus grands, pourvu qu'on s'arrête à ceux de 60 ou 70 canons, ou du troisieme rang, lesquels n'ont au plus que deux ponts & demi avec une seule dunette; jusques-là la quantité dont le centre de gravité est au-dessous du métacentre, devient plus grande. Nous avons trouvé que cette quantité dans la frégate la *Gazelle* étoit de 4 ou 5 pieds; dans les vaisseaux de 60 canons elle sera peut-être de 6 à 7 pieds, & ces vaisseaux pourront donc porter plus de voiles à proportion que la frégate. Dans les vaisseaux encore plus grands, dans ceux de 80 ou 90 canons, qui ont trois ponts & deux dunettes, le poids de toutes les parties supérieures fait que le centre de gravité monte & s'approche du métacentre, & revient se mettre seulement à 4 ou 5 pieds au-dessous. Alors la pesanteur totale étant appliquée pendant l'inclinaison à la même distance du métacentre que dans la Gazelle, sa force relative n'est plus grande que dans le seul rapport des cubes, ce qui est cause que la mâture de ces vaisseaux ne doit être grande qu'à proportion de leurs dimensions simples, & qu'ils pourroient être comparés à cette frégate pour la marche, si la figure de leur carene n'étoit pas altérée, & s'ils n'étoient pas outre cela embarrassés par leurs œuvres-mortes qui font la fonction de voiles, mais qui y nuisent, comme nous l'avons déja dit. Enfin les vaisseaux sont-ils du premier rang, ont-ils 100, 110 ou 120 canons avec trois ponts & demi, le centre de gravité est encore beaucoup plus haut; il n'est pas quelquefois deux pieds au-dessous du métacentre. Ainsi la pesanteur totale perd de la grandeur de son moment par le levier gQ qui est moins long; le vaisseau ne doit plus porter si bien la voile, & doit perdre en même tems de tous ses autres avantages, bien loin de les conserver. Il arrive même souvent encore qu'on rend ces navires moins propres pour le combat, en les chargeant d'artillerie ou en voulant les rendre plus forts, parce que devenus trop pesans & plongeant trop, la mer pour peu qu'elle soit agitée interdit l'usage de toutes leurs batteries inférieures.

Fig. 100.

CHAPITRE IV.

Suite du Chapitre précédent ; maniere de déterminer la limite de la plus haute mâture, & application de cette regle à quelques navires.

I.

On peut achever ſans peine la ſolution du problême que nous avons tentée ; il ſuffit d'appliquer le principe que nous venons d'établir dans l'autre Chapitre ; application d'autant plus facile, qu'elle n'exige preſque toujours que les ſeules connoiſſances que nous avons déja priſes, & de la figure du navire, & de l'arrangement de ſes parties. Ce principe porte que le vaiſſeau ne reſte dans une certaine ſituation inclinée, que lorſqu'il y a égalité entre le moment de la peſanteur totale par rapport au métacentre g, & le moment de l'effort de la voile par rapport au point F ou au point Z, qui répond exactement au-deſſus ou au-deſſous du métacentre dans la direction DH du choc de l'eau ſur la proue. Tous ces points F, Z, g & le point C ſe confondront lorſque la direction DH paſſera par le métacentre g, comme cela arrivera, lorſque les coupes verticales *a*E*b* de la carene ſeront circulaires. Dans la plûpart des autres cas, on pourra négliger encore l'intervalle gF, parce que, ſi la coupe *a*E*b* n'eſt pas un ſegment de cercle, les différentes figures qu'on lui donnera feront changer à peu près également le point g que le point C. Ce n'eſt que dans les ſeuls vaiſſeaux conſtruits à la Chinoiſe, dans les flutes Hollandoiſes & dans une eſpece de frégate particuliere que nous propoſerons dans la Section ſuivante, qu'il ſera bon de ne pas regarder l'eſpace gF comme nul. Le flanc *a*E du navire étant preſque vertical, la direction DH du choc de l'eau doit être preſqu'horiſontale, & par conſéquent

Fig. 100.

conséquent les points Z ou F, qui servent d'hypomoclion à l'effort de la voile, se trouveront de niveau avec le centre de la partie submergée de la carene, ou seront enfoncés dans l'eau de la moitié de la profondeur du navire.

Fig. 100.

Quoi qu'il en soit, si on continue à nommer P la pesanteur du vaisseau, on aura $P \times gQ$ pour son moment, qu'on peut toujours regarder comme connu. Outre la maniere exacte que nous avons donnée pour trouver la pesanteur totale P du navire en mesurant la solidité entiere de la carene, & celle que nous avons proposée pour trouver la situation du métacentre g & du centre de gravité G, nous avons fourni dans le chapitre XI de la seconde section du livre précédent, le moyen de trouver immédiatement, quand on le voudra, par l'expérience, le moment $P \times gQ$, pourvu que le navire soit déja chargé. On trouvera ce moment pour une très-petite inclinaison, & on en conclura le moment $P \times gQ$, dont nous avons besoin, qui augmente dans le même rapport que le sinus de l'inclinaison, aussi-tôt que le métacentre ne change pas sensiblement de place. Supposé qu'un poids de 700 livres placé à 30 pieds de distance horisontale du métacentre, ou du milieu du navire, produisît une inclinaison d'un degré, il faudroit placer ce même poids environ dix fois plus loin, pour produire une inclinaison de 10 degrés. Ainsi dans ce dernier cas le moment $P \times gQ$ seroit égal à 210000, produit de 700 livres par 300 pieds.

Si après cela on convient de la figure de la voile, cette figure reglera le rapport qu'aura la hauteur OL comparée à la hauteur OI que doit avoir son centre d'effort I au-dessus du point O, qui répond au bas de la voile. Lorsqu'on adoptera la figure rectangulaire, ou qu'on fera les voiles également larges par en haut que par en bas, LO sera double de IO; si la voile étoit un triangle isoscelle, dont le sommet fût en haut, LO seroit triple de IO. On aura en général $LO = m \times IO$, & m sera toujours donnée, quoiqu'on ne connoisse ni l'une ni l'autre hauteur. Les largeurs de la voile sont aussi reglées; elles le sont sur celles du

Fig. 100. navire. Je nomme L la largeur moyenne de la voile : ainsi son étendue sera $m \times L \times IO$ produit de la hauteur $m \times IO$ par la largeur ; cette étendue sera énoncée, si on le veut, en pieds quarrés ; & si E désigne l'effort que fait le vent sur chaque pied quarré, nous aurons $m \times E \times L \times IO$ pour l'impulsion totale, qu'il ne reste plus qu'à multiplier par FI, pour avoir son moment ou sa force relative $m \times E \times L \times IO \times FI$, qui doit conserver une parfaite égalité avec le moment $P \times gQ$ de la pesanteur du vaisseau. Je divise ces deux momens par la même quantité $m \times E \times L$, & j'obtiens l'équation $IO \times FI = \frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$.

La vîtesse absolue du vent étant donnée, on pourroit chercher l'impulsion E qu'il doit faire par sa vîtesse relative ; mais comme on éleveroit le problême au quatrieme degré, & qu'outre cela il n'est pas tant ici question de trouver la hauteur précise de la mâture, que de déterminer la limite de sa plus grande élevation, il vaut sans doute mieux regarder la vîtesse respective même du vent comme donnée, de même que son impulsion E. Ainsi dans l'équation $IO \times FI = \frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$ le second membre est entierement connu ; & il n'est par conséquent question, pour construire cette équation, que de déterminer le point I où doit répondre le centre d'effort de la voile ; en faisant ensorte que le rectangle de IO par PI soit effectivement égal à $\frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$.

Le problême se réduit à trouver deux quantités IO & IF dont on connoît la différence OF, de même que le produit de l'une par l'autre. Il suffit pour cela d'élever au mât, au point O, qui répond au bas de la voile, une perpendiculaire OY égale à la racine quarrée du second membre $\frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$; & si on prend après cela pour centre le point X qui est exactement au milieu de FO, & qu'on décrive un demi-cercle I Y Δ qui passe par le point Y ; ce cercle rencontrant le mât en I, indiquera l'endroit ou doit ré-

pondre le centre d'effort de la voile. Car la proprieté du cercle rend le rectangle de IO par O△ égal au quarré de OY, ou à $\frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$; mais O△ étant égal à FI, le rectangle de IO par FI sera aussi égal à $\frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$, comme il étoit question de le faire. Fig. 100.

Au reste cette construction ne peut pas manquer de se réduire aisément au calcul, comme il arrive dans la plûpart des problêmes qui ne sont que du second degré. Dans le triangle rectangle XOY nous connoissons les deux côtés XO & OY, le premier est la moitié de la hauteur OF du bas de la voile au-dessus du point qui sert d'hypomoclion à l'effort du vent, & le second côté OY est égal à la racine quarrée de $\frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$ qui n'est autre chose que la pesanteur totale P du vaisseau multipliée par la distance horisontale gQ de sa direction au métacentre, & divisée ensuite par *m*, qui exprime le nombre de fois que la hauteur de la voile est plus grande que la hauteur de son centre d'effort, par E qui désigne l'impulsion du vent sur un pied quarré de surface, & enfin par la largeur L de la voile. Il n'y aura donc qu'à résoudre le triangle XOY pour avoir l'hypothénuse XY; & on aura en même tems XI, dont il ne restera plus qu'à retrancher XO, pour avoir la hauteur requise OI du centre d'effort de la voile. Enfin multipliant OI par la quantité *m*, on aura la hauteur même OL de la voile, sur laquelle on reglera celle du mât.

II.

Application du problême précédent à un vaisseau du premier rang.

Proposons-nous, pour éclaircir toute cette matiere, de découvrir la plus grande hauteur qu'on peut donner à la mâture d'un vaisseau du premier rang, dont la pesanteur totale P est de 3300 tonneaux ou de 6600000 livres,

Fig. 100. & dont le centre de gravité G est 2 pieds au-dessous du métacentre g. Si l'on souhaite que la plus grande inclinaison de ce vaisseau ne soit que d'environ $9\frac{1}{2}$ degrés, le bras de levier gQ ne sera qu'environ $\frac{1}{3}$ pied à proportion de gG qui est de 2, & on aura 2200000 pour le moment $P \times gQ$, moment qu'on découvrira si on le veut également par l'expérience, comme nous l'avons dit. Supposons outre cela, pour plus de facilité, & comme on le peut presque toujours, que la direction DH du choc de l'eau passe par le métacentre ; ce qui réunit en un seul les quatre points g, Z, F & C ; & supposons que le bas O de la voile est élevé, à cause des ponts, de 20 pieds au-dessus du point F ou du point g. Il nous faut voir maintenant la largeur que nous devons donner aux voiles, de même que la plus grande force du vent qu'il est à propos que le vaisseau puisse soutenir.

Les voiles, on ne peut gueres les faire par en bas que de deux fois la largeur du vaisseau, ou de 96 pieds, en supposant que le vaisseau en a 48. Par en haut, je crois qu'on peut rendre les basses voiles beaucoup plus larges ; c'est à l'expérience à nous apprendre de combien ; je les avois, ce me semble, rendu beaucoup trop étendues dans mon Traité de la mâture ; mais donnons leur deux largeurs & demie du vaisseau, ou presque trois largeurs. Enfin supprimons le perroquet, & formons la voilure comme un exagone irrégulier qui résulte de l'assemblage de deux trapezes égaux, si on le veut, qui se joignent par leur plus grand côté ; ainsi que le représente la figure 46. L'un sera la voile basse & l'autre la supérieure ou le hunier, & le centre d'effort sera au milieu de la hauteur des deux voiles ou sur la vergue même qui les sépare ; ce qui rendra $m = 2$. Les largeurs étant de 96 pieds, & de 120, la largeur moyenne sera de 108, & si les voiles des deux principaux mâts sont déployées, comme nous devons le supposer ici, & si elles étoient outre cela égales, il faudroit prendre 216 pour la largeur totale ; si ce n'est que le vent fait beaucoup plus d'impression lorsqu'il frappe avec un peu moins d'obli-

quité, quoiqu'il ne découvre ensuite qu'une moindre partie des voiles de l'avant. Il n'est pas fort difficile de déterminer les circonstances de cette plus grande impulsion *; mais nous n'assignons que 170 pieds à la largeur totale L. Enfin si on veut que la vîtesse respective du vent soit de 35 pieds par seconde, le vent fera une impulsion d'environ 3 livres sur chaque pied quarré de surface qu'il frappera perpendiculairement; mais il y a trois réductions à y faire, dont deux sont assez considérables. Premierement le vent ne choque pas les voiles à angle droit, & l'angle d'incidence qui rend ici l'impulsion la plus grande qu'il est possible, n'est gueres que de 65 degrés. Cet angle, en second lieu, est encore diminué par l'inclinaison du vaisseau & des voiles; & enfin il ne faut prendre de l'effort absolu du vent que la seule partie qui agit perpendiculairement à la longueur du navire; puisque c'est cette seule partie qui tend à le faire coucher sur le côté. Tout cela me fait conclure, & on peut s'en assurer aisément par le calcul, qu'on ne peut mettre qu'à deux livres, au plus, l'effort E sur chaque pied quarré.

Fig. 100.

Nous connoissons donc maintenant les quantités $P \times gQ = 2200000$, $m = 2$; $L = 170$, & $E = 2$; & nous aurons $\frac{P \times gQ}{m \times E \times L} = 3235$, qui est le quarré de la perpendiculaire OY. Il ne tient qu'à nous, après cela, d'achever la solution du problême, ou par une construction géométrique ou par supputation. L'autre côté XO du triangle rectangle XOY est de 10 pieds, moitié de FO ou de gO qui est de

* La regle dont on peut se servir, mais que ce n'est pas ici le lieu de démontrer, parce qu'on ne se propose pas de donner un Traité de Manœuvre, consiste à faire ensorte que la largeur de la partie de la mizaine, ou de la voile de la proue, qui est découverte par le vent, jointe avec la largeur entiere de la grande voile, fasse une somme précisément égale à la distance diagonale qu'il y a depuis le côté de la grande voile qui est sous le vent, jusqu'au côté de la mizaine qui est au vent. Lorsqu'un des mâts a plus de hauteur que l'autre, il n'y a qu'à, par la pensée, retrancher l'excès de la hauteur & suppléer sur la largeur de la voile le retranchement fait à son étendue sur l'autre dimension. Mais la regle n'est toujours que sensiblement exacte, parce qu'elle suppose que la vitesse du vent est infinie par rapport à celle du navire.

Fig. 100. 20; & l'hypothénuse XY sera d'environ $57\frac{1}{3}$, de même que XI. Par conséquent OI sera de $47\frac{1}{3}$ pieds, & l'assemblage des voiles de chaque mât ne doit avoir au plus que $95\frac{1}{3}$ pieds de hauteur. On verra dans le chapitre suivant les raisons que nous avons de faire les deux mâts également hauts.

Il faut bien remarquer que l'erreur qu'on commet en confondant le point F avec le métacentre g, ne peut guere tirer à conséquence, parce que la quantité gF est toujours très-peu considérable par rapport à la hauteur de la mâture. La plus grande attention qu'il faut avoir, c'est lorsqu'on ne détermine pas le moment $P \times gQ$ par l'expérience, de chercher avec assez de précision la situation du centre de gravité G par rapport au métacentre, parce que ces deux points n'étant toujours que trop proches l'un de l'autre, pour peu qu'on se trompât dans la quantité Gg qui les sépare, on commettroit une erreur extrémement sensible dans le moment $P \times gQ$.

Application du même probléme à la frégate nommée la Gazelle.

C'est une incommodité considérable que d'être obligé de recommencer l'opération pour chaque navire: mais on ne peut pas l'éviter, sans retomber dans le défaut que nous avons reproché aux regles vulgaires. Cependant beaucoup de choses sont communes. Si nous voulons trouver, par exemple, la limite de la plus grande hauteur de la mâture de *la Gazelle*, dont le poids total est d'environ 400 tonneaux, ou d'environ 800000 livres, & qui a son centre de gravité G environ $4\frac{1}{2}$ pieds au-dessus du métacentre g; nous pouvons admettre la plus grande partie des suppositions que nous avons faites pour le vaisseau du premier rang. Le bras du levier gQ sera d'environ 9 pouces ou $\frac{3}{4}$ pied, la sixieme partie de gG, & nous aurons 600000 pour le moment $P \times gQ$. La largeur moyenne de chaque voile sera de $56\frac{1}{4}$ pieds, & nous pourrons prendre 89 pieds pour la largeur totale L qui est exposée à l'impulsion. En-

fin nous ferons également $m=2$ & $E=2$; ce qui nous donnera 1685 pour la valeur de $\frac{P \times gQ}{m \times E \times L}$; & si le bas des voiles est élevé de 6 pieds au-dessus du point F, ou du métacentre g, & que nous achevions la solution, nous trouverons un peu plus de 41 pieds pour XI, & de 33 pour OI ; de sorte que la plus grande hauteur OL de la voilure sera d'environ 76 $\frac{1}{4}$ pieds. Ordinairement une assez grande différence dans la largeur en apportera une moindre dans la hauteur : si au lieu de faire la largeur totale de 89 pieds, on la fait de 94 pieds ou de 5 pieds plus grande, la hauteur OL se trouvera de 74 pieds ou de 2 $\frac{1}{4}$ pieds plus petite. Fig. 100.

CHAPITRE V.

Dans lequel après avoir répondu à quelques objections, on examine laquelle des dimensions des voiles on doit s'attacher à augmenter, & s'il est à propos que les différens mâts d'un navire soient de différentes hauteurs.

I.

NOus avons regardé dans la solution du chapitre précédent la situation du centre de gravité du navire comme donnée ; c'est supposer en partie ce qui est en question, puisque la pesanteur de la mâture fait partie de celle du vaisseau. Mais on sçaura toujours assez d'avance le poids de la mâture & ses dimensions, pour ne se pas tromper sensiblement dans la place qu'on assignera à ce point : & supposé qu'on eût commis une erreur considérable, il n'y auroit qu'à recommencer la solution une seconde fois. Si on ne se permettoit pas d'écarter ainsi les difficultés, en mettant de la distinction entre les circonstances qui n'influent que peu dans le résultat, & celles qui y ont beaucoup de part, on seroit arrêté à chaque pas,

& les problêmes dont nous ſommes venus à bout le plus aiſément, deviendroient preſque toujours intraitables.

II.

Nous éludons une difficulté bien plus grande, qui ne ſe préſenteroit à nous que trop, ſi nous ne nous propoſions pas de réformer la figure même du vaiſſeau. Nous voulons que nos navires ſoutiennent le plus grand effort du vent, & nous ſuppoſons pour cela qu'ils portent l'inclinaiſon le plus loin qu'il eſt poſſible. Mais il n'eſt pas certain qu'il y ait à y gagner: l'expérience prouve ſouvent au contraire qu'il vaut mieux donner moins de voilure & rendre l'inclinaiſon moins conſidérable, pour ſingler plus vîte, parce que le choc de l'eau ſe trouve enſuite moins grand. Ce ſeroit donc un nouveau problême à réſoudre: il faudroit chercher l'inclinaiſon la plus avantageuſe, ou celle qui rend la réſiſtance de l'eau la moindre à proportion de la voilure: la difficulté appartiendroit preſque toujours à la Géométrie tranſcendante: car la loi que ſuivent les impulſions lorſque le choc de l'eau ſe fait ſur différentes parties de la carene, doit être fort compliquée; & il faudroit faire entrer cette conſidération dans la queſtion qu'on traite actuellement. Mais on peut remarquer que ce qui étoit un ſujet de problême pour preſque tous les Auteurs qui ont traité de la mâture, n'en eſt point pour nous; parce que nous nous propoſons de faire enſorte, en réformant la figure de la carene, que le vaiſſeau ſingle le mieux qu'il eſt poſſible, lorſqu'il eſt incliné d'une quantité donnée. Cet expédient fera que nous gagnerons de toutes manieres en étendant les voiles & en faiſant augmenter aſſez l'effort du vent pour porter l'inclinaiſon juſqu'au terme prévu; car en même tems que cette plus grande impulſion fera accelerer le ſillage, elle obligera encore le vaiſſeau d'aller chercher cet état, dans lequel on ſçait qu'il doit marcher avec plus de vîteſſe.

III.

Au ſurplus, on trouvera preſque toujours par l'application de notre regle, qu'il faut, conformément à ce que nous avons déja dit, s'attacher à diminuer de la hauteur de la mâture, & c'eſt ce qui deviendra encore plus néceſſaire lorſqu'on voudra donner aux voiles la diſpoſition abſolument parfaite. On y trouveroit toujours de l'avantage, quand même on ne réuſſiroit pas à réparer du côté de leur largeur ce qu'on perdroit ſur leur hauteur : au lieu qu'on peut aſſurer qu'il n'y a au contraire rien à gagner en ſe conformant à l'ancien uſage. Tout ce que les marins peuvent nous répondre, c'eſt qu'il eſt à propos de conſerver la grande hauteur des voiles, afin de recevoir le vent qui eſt plus rapide en haut, & de profiter de cette plus grande force. On reconnoît effectivement, en meſurant la vîteſſe des nuages, par celle de leur ombre, que le vent eſt ſouvent en haut à 7 ou 8 cens toiſes au-deſſus de la terre, deux fois plus rapide qu'il n'eſt en bas ; c'eſt ce que j'ai expérimenté pluſieurs fois, & j'ai auſſi trouvé avec l'*anémometre*, qu'une hauteur de 50 ou 60 pieds faiſoit preſque toujours augmenter d'une cinquieme ou d'une quatrieme partie ſon impulſion. Sans doute qu'en mer où il n'y a point d'obſtacle en bas qui arrête le vent, la différence eſt beaucoup plus petite. Cependant on veut bien ici la ſuppoſer plus grande, & la regarder comme exceſſive : on ſoutient malgré cela qu'il vaut mieux diminuer de la hauteur des mâts, en élargiſſant en même tems les voiles ; & qu'on ne ſçauroit être trop attentif à procurer ces deux changemens.

Tous les lecteurs diſtinguent maintenant l'effort que fait la voile pour faire marcher le navire, de celui qu'elle fait pour le faire incliner. Ces deux efforts ſont ſi différens, quoique le premier produiſe le ſecond, qu'on peut faire augmenter l'un à volonté, en même tems qu'on fait diminuer l'autre. On ſouhaite, dans le cas préſent, que le

vaiſſeau porte l'inclinaiſon juſqu'à un certain terme déterminé, & que la force relative qu'a la voile pour produire cette inclinaiſon ſoit par conſéquent toujours la même. Ainſi on ne doit retrancher de la hauteur de la mâture qu'autant qu'on peut réparer cette perte par la largeur. Mais comme la ſurface de la voile, ajoutée par les côtés, ſera plus baſſe que la ſurface retranchée par le haut, ou qu'elle ſera appliquée à un bras de levier moins long, il faudra qu'elle ait non-ſeulement plus d'étendue, mais qu'elle reçoive auſſi plus d'impulſion de la part du vent: autrement elle auroit moins de moment ou de force relative, il n'y auroit pas une exacte compenſation à cet égard & le navire s'inclineroit moins qu'il ne faiſoit. En un mot, toutes les fois qu'on diminue la hauteur de la mâture, on acquiert la liberté ou le droit de donner plus d'étendue aux voiles, & de gagner plus de ſurface dans le ſens de la largeur, qu'on n'en a perdu dans celui de la hauteur. On eſt maître d'uſer de tout ce droit, ou de n'en uſer qu'en partie, afin de rendre la mâture plus légere, & de pouvoir diminuer auſſi, ſi on le veut, la peſanteur du leſt ou de la charge par en bas. Cependant le navire ne s'inclinera pas davantage; & la réſiſtance de l'eau reſtant la même du côté de la carene, ou étant plus petite, l'effort abſolu du vent, qui ſera effectivement plus grand, ſans avoir plus d'obſtacle à vaincre, ne pourra pas manquer de rendre le ſillage plus prompt.

IV.

C'eſt en ſuivant à peu près le même raiſonnement, que nous pouvons décider s'il eſt à propos que les mâts d'un navire ſoient de différentes hauteurs, conformément à l'uſage ordinaire, ou ſi on doit les faire tous également hauts. Suppoſons qu'on ait élevé extrémement le grand mât par rapport à celui de mizaine, & que malgré cela le moment total de toutes les voiles de ces deux mâts n'ait que la grandeur convenable, ou ſoit préciſément égal au moment de la peſanteur du navire. Si on diminue la hauteur

du grand mât d'une très-petite quantité, d'une quantité infiniment petite si on le veut, le moment particulier de ses voiles, ou la force relative qu'elles ont pour faire incliner le navire, souffrira un peu de diminution, à cause du retranchement qu'il faudra faire à leur hauteur; & il faudra par conséquent augmenter la hauteur du mât de mizaine & de ses voiles pour réparer cette perte, & faire que le moment total soit toujours le même, ou que l'inclinaison du navire soit toujours de la même quantité. Mais on doit remarquer que puisque la petite partie qu'il faudra ajouter à la hauteur du mât de mizaine, sera moins élevée au-dessus du vaisseau que la petite partie qu'on aura retranchée du grand mât, l'égalité dans le moment total ne pourra être conservée, que lorsque la partie ajoutée aux voiles de mizaine sera plus grande que celle qu'on aura retranchée des voiles du grand mât; & il est clair qu'il faudra qu'elle soit plus grande dans le même rapport que le grand mât est plus haut que l'autre. Ainsi il se trouvera un avantage réel dans le changement que nous proposons: quoique le moment ou la force relative des voiles, pour faire incliner le navire, ne souffre aucune altération, leur étendue, & par conséquent l'impulsion absolue du vent qui s'occupe à faire accelerer le sillage, sera plus grande. Or ce sera la même chose si on repete le même changement une infinité de fois, jusqu'à ce que le grand mât ayant perdu peu-à-peu tout son excès de hauteur sur l'autre, ils soient devenus égaux; & ce sera encore la même chose, lorsqu'il y aura un plus grand nombre de mâts.

On peut excepter de cette regle le mât d'artimon, parce que ses voiles sont plutôt destinées à faire tourner le navire dans différens sens, qu'à le faire marcher. Mais à l'égard du mât de mizaine & de celui que les marins nomment grand mât, parce qu'ils lui donnent effectivement toujours plus de hauteur, il ne se présente aucune exception contre les raisons qu'on vient d'alléguer. Si les voiles de mizaine sont plus étroites, parce que le navire est moins large vers la proue, ce n'est point du tout un mo-

tif pour diminuer auſſi leur hauteur, lorſqu'il eſt démontré au contraire qu'il n'y a qu'à gagner & nul riſque à courir, lorſqu'on l'augmente. D'ailleurs cet excès d'élevation que nous voulons donner à ces voiles, n'en rendra pas la manœuvre plus difficile : elle ſera toujours moins pénible que celle des voiles de l'autre mât qui ſont plus larges.

CHAPITRE VI.

Un navire étant donné ou déja conſtruit, déterminer la mâture la plus avantageuſe qu'il peut recevoir, lorſqu'on a la liberté de le faire enfoncer plus ou moins dans l'eau.

NOus pourrions nous diſpenſer de travailler à la ſolution de ce problême, par les mêmes raiſons que nous avons alléguées dans l'article II. du chapitre précédent : car de même que nous nous propoſons de donner à nos vaiſſeaux la figure la plus parfaite, pour le cas dans lequel ils s'inclinent d'une quantité déterminée, nous aurons auſſi toujours en vue un certain degré d'enfoncement précis pour leur carene. Cependant comme l'occaſion ne manquera jamais de mâter quelques navires conſtruits ſans deſſein & comme au hazard, nous allons inſiſter ici ſur la maniere de ſatisfaire à la difficulté : nous le faiſons d'autant plus volontiers, qu'on pourra, en employant le même moyen, réſoudre toutes les difficultés qui s'offriront ſur le même ſujet, ſans excepter celle dont nous parlions au commencement de l'autre chapitre.

I.

On ne peut guere ſe diſpenſer dans ce problême, ainſi que nous l'avons dit dans le premier Livre, auſſi-tôt qu'on veut deſcendre aſſez dans le détail pour que l'examen ſoit

de quelque utilité pour la pratique, d'avoir recours à quelque espece d'approximation ou de voies méchaniques. Il suffira néanmoins toujours, à ce que nous croyons, de considerer le navire en trois ou quatre états différens, renfermés entre des limites qu'il sera toujours facile de reconnoître. La carene ne doit pas plonger jusqu'à faire entrer dans l'eau ses plus grandes largeurs; il est nécessaire qu'elles restent élevées au-dessus de la surface de la mer d'une certaine partie *du creux*, comme d'une huitieme ou d'une neuvieme. Voilà déja un des termes qui n'est pas permis de violer; & c'est celui du plus grand enfoncement. Le second est un peu plus indécis: car outre l'enfoncement, qui est absolument nécessaire pour soutenir le poids particulier du navire, il faut toujours mettre quelque lest ou quelque charge dans la cale, ce qui augmente encore ce premier enfoncement. Mais enfin la difficulté ne sera jamais grande, l'opération seulement sera longue, de chercher les dimensions de la mâture pour ces deux différens états, & pour quelques autres pris entre deux. Les voiles auront toujours la même largeur; il n'y aura que leur hauteur qui sera sujette à changer, selon que le navire se trouvera avoir plus ou moins de stabilité, ou de force pour soutenir l'effort du vent. Il ne restera plus après cela qu'à examiner la grandeur de l'impulsion de l'eau sur la partie de la proue actuellement choquée. La méthode que nous avons donnée pour cet examen dans le chapitre VI. de la premiere section de ce troisieme livre, a cet avantage qui lui est propre, que comme on partage la proue en plusieurs tranches par des plans horisontaux, on pourra toujours avec une extrême facilité retrancher de l'impulsion que recevroit la surface entiere, toutes les portions qu'on voudra. Or il ne sera plus ensuite question que de s'arrêter au degré précis d'enfoncement de la carene, qui rend l'étendue des voiles la plus grande qu'il est possible par rapport à l'impulsion de l'eau: car on sçait que c'est cette disposition qui doit procurer la plus grande célerité au sillage. Il est inutile, ou plutôt il est dangereux, de rendre l'impul-

ſion du vent abſolument la plus forte, & il ne le ſeroit pas moins de faire que la réſiſtance de l'eau contre la proue fût très-petite : l'avantage conſiſte à rendre la premiere de ces forces la plus grande qu'il ſe peut, relativement ou eu égard à la ſeconde, comme nous l'avons déja dit tant de fois. Il n'y aura donc qu'à diviſer toujours l'étendue des voiles ou la hauteur de la mâture par l'impulſion de l'eau dans chaque cas, ſans qu'il ſoit néceſſaire pour cela de réduire ces grandeurs à la même eſpece : le plus grand expoſant ou le plus grand quotient marquera la diſpoſition qu'il faut adopter, parce qu'il ſera l'*argument* de la plus grande vîteſſe.

On pourra réſoudre de la même maniere la plûpart des autres queſtions qui ſe préſentent touchant *l'aſſiete*, & il n'y aura pas plus de difficulté à déterminer d'avance la profondeur qu'on doit donner aux navires, & toutes les autres dimenſions de leur carene, lorſqu'on travaillera à en faire le projet. Il ne ſera pas néceſſaire d'inſtituer chaque fois un calcul entierement nouveau : il ſuffira preſque toujours de faire trois ou quatre hypotheſes, afin de voir diſtinctement quel eſt le progrès de ces expoſans dont nous venons de parler, & de ſçavoir dans quel ſens ils augmentent. Nous avouons encore une fois que toutes ces opérations ſont un peu longues ; mais elles ceſſeront de le paroître, lorſqu'on fera attention qu'on peut les réduire à quelques heures de travail, à l'aide d'un peu d'exercice. Qu'on penſe outre cela que pluſieurs vaiſſeaux ne ſe trouvent très-mauvais voiliers, qu'ils ne marchent très-mal, ou qu'ils ne ſont expoſés au péril de verſer auſſi-tôt que le vent devient un peu fort, que parce qu'on ne réuſſit pas à trouver la diſpoſition particuliere qu'ils demandent ; quoiqu'on la cherche quelquefois en mer pendant dix ou vingt ans, ou pendant tout le tems de leur ſervice.

Si les différentes étendues des voiles exprimées numériquement pour chaque cas, ne ſe diviſoient pas commodément par les impulſions de l'eau, il n'y auroit, ſi on le vouloit, qu'à augmenter ces premieres quantités d'un

certain nombre de zéros ; puiſqu'il n'importe que ces expoſans ſoient plus ou moins grands, & qu'il ne s'agit que de voir la grandeur qu'ils ont les uns par rapport aux autres. Plus on en aura calculé un grand nombre, mieux on s'aſſurera de la loi qu'ils ſuivent, & on en inferera mieux la grandeur qu'ils doivent avoir dans tous les autres cas. On y réuſſira toujours ſans peine, en les comparant à une expreſſion générale, mais indéterminée, qu'on rendra ſpécifique en l'accommodant aux circonſtances particulieres, ou en l'aſſujettiſſant aux expoſans déja trouvés. Suppoſé qu'on eût calculé quatre de ces expoſans, il n'y auroit qu'à prendre pour leur expreſſion générale une quantité formée de quatre termes, comme $lz^3 + mz^2 + nz + p$, dans laquelle les coëfficiens l, m, n, p ſont indéterminés, pendant que la variable z déſigne les divers enfoncemens de la carene ; non pas ſes enfoncemens abſolus, mais leur excès à l'égard du premier ou du moindre, c'eſt-à-dire, les quantités verticales dont on ſuppoſe que le navire cale davantage dans les autres cas que dans le premier. La variable z déſigneroit également ou l'inclinaiſon du navire ou la quantité dont il plonge plus vers la poupe que vers la proue, ou toute autre circonſtance, ſi elle faiſoit le ſujet de la queſtion.

Mais au lieu de ſuppoſer ici quatre expoſans connus, nous n'en conſidererons que trois, pour une plus grande ſimplicité ; & nous nous bornerons à l'expreſſion $mz^2 + nz + p$ qui eſt alors ſuffiſante. Nous nommerons a, b & c ces trois expoſans ; & nous ſuppoſerons que les trois différens enfoncemens de la carene pour leſquels ils ſont calculés, ſe ſurpaſſent également de la quantité e. Ainſi ces expoſans appartiendront aux trois cas dans leſquels z ſera égale ou à *zéro*, ou à e, ou à $2e$; & nous n'aurons donc qu'à introduire ſucceſſivement ces trois valeurs de z dans l'expreſſion générale $mz^2 + nz + p$, pour l'obliger de devenir égale aux trois quantités a, b & c. Nous aurons, en un mot, les trois équations, $p = a$; $me^2 + ne + p = b$; $4me^2 + 2ne + p = c$, par le moyens deſquelles nous pouvons, confor-

mement aux regles ordinaires d'algebre, chaſſer m, n & p; & notre expreſſion générale des expoſans deviendra $\frac{a - 2b + c}{2e^2} \times z^2 - \frac{3a + 4b - c}{2e} \times z + a$, qui ne contient plus, comme on le voit, que des grandeurs connues, puiſqu'il faut conſiderer comme telle la variable z. Nous pouvons donc maintenant, à l'aide de cette expreſſion, trouver les expoſans ou les *argumens* de la vîteſſe du ſillage pour tous les cas que nous voudrons; & il ne reſte plus qu'à en déterminer le *maximum*, pour connoître la diſpoſition la plus avantageuſe, ou celle qui rend l'étendue des voiles la plus grande qu'il eſt poſſible, eu égard à la réſiſtance de l'eau contre la proue. Il n'y a enfin qu'à prendre la différentielle & l'égaler à zéro; & on en déduira $z = \frac{3a - 4b + c}{2a - 4b + 2c} \times e$, *formule* qui réſoud effectivement le problême, en nous apprenant l'excès précis z d'enfoncement dont il faut faire caler la carene, pour que le navire, avec la mâture convenable, ſingle le plus vîte qu'il eſt poſſible.

Suppoſons, pour en donner un exemple, que 1°. pour le moindre enfoncement de la carene, la mâture que peut ſoutenir le navire n'ait que 84 pieds de hauteur, ce qu'on trouvera par les regles expoſées ci-devant, & qu'alors la réſiſtance que ſouffre la proue ſoit la même que ſi l'eau choquoit perpendiculairement une ſurface plane qui eût 42 pieds quarrés d'étendue. 2°. Que lorſque la carene enfonce dans l'eau de deux pieds de plus, la hauteur de la mâture ſoit de 117 pieds, & qu'alors la ſurface convexe de la proue ſe réduiſe, quant à la réſiſtance qu'elle éprouve de la part de l'eau, à une ſurface plane de 45 pieds quarrés; & qu'enfin 3°. lorſque le navire cale encore de deux pieds de plus, la mâture doive avoir 120 pieds de hauteur, & que la ſurface de la proue ſe réduiſe à un plan de 50 pieds quarrés. Nous multiplierons d'abord, pour la commodité du calcul, ou pour éviter les fractions, les trois différentes hauteurs de la mâture par un nombre arbitraire 5, & diviſant enſuite ces trois produits par l'étendue des plans

plans aufquels la furface courbe de la proue fe réduit dans chaque cas, nous trouverons 10, 13 & 12 pour les trois expofans a, b & c, ou pour les trois differens degrés d'avantages qu'a le navire dans les trois hypothefes ou diverfes difpofitions. Enfin introduifant ces derniers nombres dans la formule, en mettant deux pieds à la place de e; nous trouverons $z \left(= \frac{3a - 4b + c}{2a - 4b + 2c} \times e \right) = 2\frac{1}{2}$; ce qui nous apprend, qu'au lieu de s'arrêter au premier cas ou au fecond, on doit faire caler le navire de $2\frac{1}{2}$ pieds plus que dans le premier, ou de $\frac{1}{2}$ pied plus que dans le fecond, & que c'eft pour ce degré précis d'enfoncement qu'on doit difpofer réellement la mâture. Il eft vrai que cette folution n'eft qu'approchée; puifque nous fuppofons que les expofans changent felon une loi qu'ils ne peuvent fuivre exactement que par hafard. Mais en tout cas, fi l'on craignoit quelque erreur, il n'y auroit qu'à recommencer la folution une feconde fois, après avoir calculé les trois premiers expofans pour trois enfoncemens moins différens les uns des autres, & plus voifins de celui que la premiere folution auroit fourni. Un dernier avis que nous ne devons pas oublier, quoi qu'il ne foit que pour quelques lecteurs, c'eft que fi le fecond expofant b étoit le plus petit des trois, notre formule ne donneroit pas alors un *maximum*, mais un *minimum*: ainfi au lieu de s'arrêter à la difpofition qu'elle indiqueroit, il faudroit au contraire s'en éloigner le plus qu'il feroit poffible.

II.

La difficulté qui oblige dans ce problême d'avoir recours aux méthodes d'approximation, lorfqu'on veut le traiter d'une maniere utile pour la pratique, vient de ce qu'on ne peut pas confiderer les navires comme des corps géometriques ou homogenes, & de ce qu'il n'eft pas aifé non plus d'avoir une expreffion générale de l'impulfion de l'eau fur les différentes portions de leur carene. Nous allons,

afin de répandre un plus grand jour sur la question, tâcher néanmoins de la résoudre d'une maniere plus rigoureuse, pour les navires formés en parallelipipede rectangle : cette figure a ses avantages, comme nous l'avons assez montré; d'ailleurs notre examen ne se fera pas sans fruit; il sera susceptible d'application.

Supposons que la figure 62 représente la coupe de ce navire, faite perpendiculairement à sa longueur. Je nomme a sa demie largeur FB; b la hauteur de son centre de gravité particulier au-dessus du fond E de la carene; c la moindre quantité dont il faut qu'il plonge pour que l'eau déplacée soit capable de le soutenir, lorsqu'il n'a point de charge; m la pesanteur spécifique de la matiere qui doit servir de lest; n celle de l'eau marine; & x l'enfoncement du navire, lorsqu'il sera chargé.

Fig. 62.

Toutes ces choses supposées; nous trouverons la hauteur du centre de gravité commun du navire & de sa charge en suivant le même procédé que dans le chapitre X de la seconde section du second livre. La pesanteur particuliere du navire le fait enfoncer dans l'eau de la quantité c; nous prendrons cet enfoncement pour l'expression de cette pesanteur particuliere, & nous aurons bc pour son moment par rapport au fond de la carene, qui servira de terme ou de point fixe pendant la recherche du centre de gravité. Lorsqu'on introduira le lest dans la cale, le navire qui plongeoit de la quantité c, le fera ensuite de la quantité x; ainsi $x - c$ exprimera la pesanteur particuliere du lest; & comme ce lest doit occuper d'autant moins de place qu'il est plus pesant que l'eau marine, ou que m est plus grande que n, nous aurons $\frac{n}{m} \times x - c$ pour sa hauteur dans la cale & $\frac{n}{2m} \times \overline{x - c}$ pour celle de son centre de gravité. Je multiplie cette hauteur par $x - c$, qui désigne la pesanteur, & il vient $\frac{n}{2m} \times \overline{x - c}^2$ pour le moment particulier du lest; moment qui étant ajouté à celui du corps

Fig. 62.

du navire, donne $bc + \frac{n}{2m} \times \overline{x-c}^{\,2}$ pour la ſomme des momens. Il ne reſte plus qu'à diviſer cette ſomme par x, qui déſignant l'enfoncement total, exprime la ſomme des peſanteurs ; il viendra $\frac{bc}{x} + \frac{n}{2m} \times \frac{\overline{x-c}^{\,2}}{x}$ pour la hauteur du centre de gravité commun au-deſſus du fond E de la carene.

A l'égard du métacentre, il eſt élevé de la quantité $\frac{a^2}{3x}$ au-deſſus du centre de gravité de la partie ſubmergée *, & par conſéquent de la quantité $\frac{a^2}{3x} + \frac{1}{2}x$ au-deſſus du fond de la carene. Ainſi il eſt élevé de $\frac{a^2}{3x} + \frac{1}{2}x - \frac{bc}{x} - \frac{n}{2m} \times \frac{\overline{x-c}^{\,2}}{x}$ au-deſſus du centre de gravité commun du navire & de ſa charge. Il faut multiplier, comme on le ſçait, cette quantité par la peſanteur totale du vaiſſeau pour avoir ſa ſtabilité, ou la force qu'il a pour ſoutenir l'effort du vent contre les voiles. Nous obtiendrons la peſanteur totale actuelle du vaiſſeau, en nommant g ſa longueur exprimée en pieds de Roi, & en multipliant cette dimenſion par la largeur $2a$ & par la profondeur x de la partie ſubmergée, leſquelles doivent être auſſi en pieds de Roi. Nous aurons $2agx$ pour le ſolide qu'il ne reſteroit plus qu'à multiplier par la peſanteur du pied cubique d'eau de mer, pour avoir la peſanteur totale. Mais comme il ſe fait une réduction au levier, qui à cauſe du peu d'inclinaiſon que reçoit le navire dans les routes obliques, ſe trouve environ ſix fois plus petit, nous ne multiplierons pas la ſolidité $2agx$ de la partie ſubmergée par la peſanteur entiere 72 livres du pied cubique, nous ne la multiplierons que par une certaine partie de cette peſanteur, par exemple, 12 livres, que nous exprimerons généralement par p. Nous avons donc $2agpx$; & multipliant ce produit par la quantité $\frac{a^2}{3x} + \frac{1}{2}x - \frac{bc}{x} - \frac{n}{2m} \times \frac{\overline{x-c}^{\,2}}{x}$ dont le centre de gravité

* Voyez l'art. 1. du chap. 4. de la ſeconde ſection du II. livre.

Fig. 62. commun eſt au-deſſous du métacentre, il nous viendra $2agp \times \overline{\frac{1}{3}a^2 + \frac{1}{2}x^2 - bc - \frac{n}{2m} \times \overline{x - c}^2}$ pour le moment de la peſanteur du navire, ou pour la force relative qu'il a pour ſoutenir la voile dans les routes obliques; force relative ſur laquelle nous devons regler la hauteur de la mâture, comme nous l'avons expliqué dans les Chapitres III & IV, qui précédent.

Nous nommons h cette hauteur ou plutôt celle des voiles; l leur largeur commune, & e la quantité dont leur baſe eſt élevée au-deſſus du fond de la carene. Leur ſurface ſera hl, que nous multiplierons par l'effort i que fait le vent ſur chaque pied quarré de ſurface; ce qui nous donne hli pour la grandeur de l'impulſion, qui ſe réunit dans le milieu de la voile comme centre, & qui s'exerce par conſéquent ſur une direction élevée au-deſſus du fond E de la carene de la quantité $\frac{1}{2}h + e$. Il ne reſte plus après cela qu'à faire attention que le point qui ſert d'hypomoclion à l'effort des voiles, eſt au milieu de la partie ſubmergée *. Ainſi le bras de levier auquel eſt appliquée l'effort hli du vent, n'eſt pas $\frac{1}{2}h + e$, mais $\frac{1}{2}h + e + \frac{1}{2}x$; & nous aurons donc $hli \times \overline{\frac{1}{2}h + e - \frac{1}{2}x}$ pour le moment de l'effort du vent qui doit être égal, à cauſe de l'équilibre, au moment trouvé ci-devant $2agp \times \overline{\frac{1}{3}a^2 + \frac{1}{2}x^2 - bc - \frac{n}{2m} \times \overline{x - c}^2}$ de la peſanteur du vaiſſeau. C'eſt-à-dire, que nous avons l'équation $hli \times \overline{\frac{1}{2}h + e - \frac{1}{2}x} = 2agp \times \overline{\frac{1}{3}a^2 + \frac{1}{2}x^2 - bc - \frac{n}{2m} \times \overline{x - c}^2}$ dans laquelle nous n'avons qu'à traiter h comme inconnue, & réſolvant l'équation, qui ne ſera que du ſecond degré, nous découvrirons la hauteur h de la mâture par rapport à toutes les autres quantités.

* Voyez l'art. 2. du chap. 4. précédent.

Si on diviſe enſuite cette valeur de h, qui eſt proportionnelle à l'étendue des voiles, par l'enfoncement x qui eſt proportionnel aux diverſes ſurfaces de la carene, ou aux impulſions que reçoit la proue de la part de l'eau dans les

différens cas, on obtiendra l'expreſſion générale des quotiens ou expoſans dont nous parlions dans l'article I. Ces quotiens ſervent d'*argumens* à la rapidité du ſillage; il n'y aura donc qu'à en chercher le plus grand.

Fig. 62.

On prendra pour cela, comme à l'ordinaire, la différentielle, on l'égalera à zero, & il ne s'agira plus que d'en déduire x, qui ſera la ſeule inconnue, & dont la plus haute dimenſion ne ſera que le quarré; de ſorte que l'équation à réſoudre ne ſera encore que du ſecond degré. Connoiſſant ainſi l'enfoncement de la carene le plus avantageux, on apprendra par de ſimples ſubſtitutions la quantité du leſt la plus convenable, de même que la hauteur que doit avoir effectivement la mâture, pour rendre le navire propoſé capable de ſingler avec la plus grande rapidité poſſible.

On pourra ſouvent négliger la quantité dont le bas de la voile eſt élevé au-deſſus du milieu de la partie ſubmergée de la carene; & alors le calcul ſera beaucoup plus ſimple. La hauteur de la mâture ſera proportionnelle à la racine quarrée de la ſtabilité $\overline{2agp \times \frac{1}{3}a^2 + \frac{1}{2}x^2 - bc - \frac{n}{2m} \times \overline{x-c}^2}$ du navire. Ainſi ſi elle n'eſt pas égale à $\sqrt{\frac{1}{3}a^2 + \frac{1}{2}x^2 - bc - \frac{n}{2m} \times \overline{x-c}^2}$, elle ſuivra au moins toujours le même rapport; & ſi on la diviſe par l'enfoncement x, qui peut toujours exprimer les diverſes impulſions que ſouffre la proue, il n'y aura qu'à faire de $\frac{\sqrt{\frac{1}{3}a^2 + \frac{1}{2}x^2 - bc - \frac{n}{2m} \times \overline{x-c}^2}}{x}$ un *maximum*. La différentielle de cette quantité étant égalée à zero, donne *la formule* $x = \frac{2m}{n}b + c - \frac{2m}{3n} \times \frac{a^2}{c}$ qui ſatisfait au problême.

Suppoſé que la demie largeur a ſoit de 20 pieds, la hauteur b du centre de gravité particulier du navire au-deſſus du fond de la carene de 21 pieds, & que la peſanteur particuliere du vaiſſeau ſoit telle qu'elle produiſe ſeule un en-

ſoncement c dans l'eau de 7 pieds. Suppoſé outre cela que le leſt ſoit d'une peſanteur ſpécifique double de celle de l'eau marine, de ſorte que ſi $n = 1$, on ait $m = 2$, la formule précédente nous donnera $x = 14\frac{17}{21}$ pieds ; ce qui nous apprend que le navire propoſé, qui n'enfonçoit dans l'eau que de 7 pieds lorſqu'il étoit ſans charge, doit enfoncer de $14\frac{1}{21}$, pour que tout équipé, il puiſſe, avec la mâture convenable, ſingler le mieux qu'il eſt poſſible. Au reſte nous ne devons pas oublier les remarques ſuivantes que nous ſuggere la même formule.

On doit donner une plus grande charge au vaiſſeau, ou le faire caler davantage; toutes les fois 1°. Que la hauteur b eſt plus grande, ou que le centre de gravité particulier du navire eſt plus élevé; toutes les fois 2°. Que la peſanteur particuliere du navire eſt plus grande, ou que ſans charge il enfonce dans l'eau d'une plus grande quantité c; toutes les fois 3°. Que a eſt plus petite, ou que le navire eſt plus étroit ; enfin 4°. Preſque toutes les fois que la peſanteur ſpécifique du leſt eſt plus grande par rapport à celle de l'eau marine. Si toutes les autres circonſtances étant les mêmes, le leſt eſt, par exemple, cinq fois plus peſant que l'eau de mer, on trouvera $26\frac{11}{21}$ pieds, au lieu de $14\frac{17}{21}$ pour l'enfoncement le plus avantageux. Il pourra arriver que le navire ne ſoit pas aſſez profond pour caler d'une ſi grande quantité : on ne pourra pas profiter alors du *maximum* que fournit notre ſolution, & on ſera obligé de ſacrifier à la ſûreté de la navigation quelque choſe de ſa promptitude ; il faudra conſentir à ſingler un peu moins vîte pour ceder au plus puiſſant des intérêts. Mais on ſçaura toujours au moins qu'il faut faire plonger le navire le plus qu'il eſt poſſible, & que c'eſt pour ce plus grand enfoncement que les dimenſions de la mâture doivent être reglées. Si lorſque le navire a 19 ou 20 pieds de profondeur, on trouvoit au contraire que ſon enfoncement le plus avantageux n'eſt que de 13 ou 14 pieds, on concluroit qu'une partie de ſa profondeur eſt inutile, au moins pour la promptitude de la marche. Ainſi nos ſolutions appliquées

d'avance aux navires qui ne ſont encore que projettés, apprendront toujours à en coriger les plans ou les profils & à les mieux former.

CHAPITRE VII.

De la forme que doivent avoir les vaiſſeaux dans le ſens de leur groſſeur pour mieux porter la voile & aller plus vîte.

I.

IL nous ſera facile par les regles expoſées dans les chapitres précédens, de trouver les dimenſions de la mâture que demande chaque navire : quelque mal formé qu'il ſoit, nous trouverons toujours aiſément la diſpoſition & la grandeur de la voilure qui lui convient le mieux. Sans doute qu'il eſt cependant une certaine figure qui donne aux vaiſſeaux plus d'avantage en cela, ou qui les rend plus propres à recevoir une bonne mâture ; & nous ne devons pas manquer d'en examiner plus particulierement les conditions. Heureuſement la plûpart des choſes que nous avons déja dites dans le ſecond livre touchant la ſtabilité des navires, trouvent actuellement une ſeconde application ; la force relative avec laquelle le navire ſoutient l'effort du vent ne différant pas de celle qu'il a pour perſiſter dans ſa ſituation horiſontale ou pour y revenir ; l'une & l'autre étant le produit ou proportionnelles au produit de la peſanteur par la quantité dont le centre de gravité eſt au-deſſous du métacentre. On a vu la proprieté qu'a à cet égard la carene qui eſt formée en parallelipipede rectangle ; c'eſt ce qui nous a obligé d'examiner ſouvent cette figure : les Chinois entreprennent d'aſſez longues navigations dans des vaiſſeaux qui l'ont à-peu-près ; & on pourroit d'ailleurs retrancher ce qu'elle a de nuiſible, en con-

servant tout ce qu'elle a d'avantageux. Rien n'empêche de donner au moins à toutes les coupes faites perpendiculairement à la quille la forme de rectangle, en faisant terminer la carene en pointe vers la proue & vers la poupe comme à l'ordinaire. Le navire auroit ensuite la proprieté de bien soutenir la voile, en même tems qu'il seroit d'une capacité beaucoup plus grande.

Nous ne voyons rien de mieux pour la construction des navires qui ne sont destinés qu'à porter un grand poids. On n'entend pas dans la rigueur qu'on fasse rectangulaires les coupes perpendiculaire à la longueur, on doit sans doute en émousser les angles; mais plus les coupes de la carene approcheront de la figure rectangulaire, plus le navire aura d'avantage en fait de charge & de transport. Si les coupes étoient des demi-cercles, & si on suppose, comme on le doit ici, que la saillie de la proue produise toujours une semblable diminution dans la résistance de l'eau, cette résistance se trouveroit moindre dans le même rapport qu'un demi-cercle est plus petit que le rectangle circonscrit: c'est-à-dire dans le rapport de 11 à 14; & la vîtesse du sillage n'augmenteroit gueres que d'une neuvieme partie, comme on peut s'en assurer par un calcul semblable à celui du chapitre I. de la seconde section. Mais cette plus grande célerité ne compenseroit pas, & il s'en faudroit mettre beaucoup, la moindre quantité de charge que le navire porteroit ensuite; puisque sa cale seroit plus petite que celle de l'autre vaisseau dans le rapport de 11 à 14. Il faut encore ajouter de plus à l'avantage de ce dernier ou de celui dont les coupes sont rectangulaires, que si on trouve qu'il single moins vîte que le premier d'une neuvieme partie: c'est en supposant qu'il n'a que la même quantité de voiles, au lieu qu'il est démontré qu'il peut en porter beaucoup plus. Ainsi la différence entre les vîtesses seroit encore plus petite, elle ne seroit quelquefois que d'une quinzieme ou seizieme partie; pendant que celle qui se trouve entre les pesanteurs de la charge subsisteroit toute entiere & que le navire seroit presque d'un quart plus de

de port. Or il paroît après cela qu'on ne doit point balancer à augmenter encore le plat des varangues de la plûpart des gabares, des flûtes & de tous les autres bâtimens qui ne servent que pour le transport. Nous ajouterons que cet avantage qu'a la figure rectangulaire, sur la circulaire, toutes les figures intermédiaires l'ont aussi en partie; on augmentera toujours plus à proportion le port d'un navire, lorsqu'on élargira sa carene par en bas, qu'on ne fera diminuer la vîtesse de son sillage.

II.

Mais supposons qu'au lieu d'un navire de charge, il s'agisse d'une frégate légere, d'une corvette, qui ne doit avoir d'autre usage que de passer avec la plus grande vîtesse possible d'un endroit à un autre, sans être embarrassée d'artillerie ni d'aucun poids étranger, si on en excepte le lest qui est absolument nécessaire, pour contre-balancer le poids de la mâture & des autres parties supérieures. On remarquera d'abord qu'il n'est pas ici question de la figure qui fait absolument le mieux porter la voile ou qui donne plus de stabilité au navire: car cette figure qui est celle dont nous venons de parler, feroit cause que le navire trouveroit en même tems beaucoup plus de résistance à fendre l'eau. Ainsi la forme que nous cherchons, est celle qui augmente le plus qu'il est possible la force pour porter la voile, eu égard à la résistance que la proue éprouve par la rencontre de l'eau.

Il paroîtra peut-être assez surprenant que la figure du navire doive être différente, selon la pesanteur spécifique des choses dont il est chargé: ce sera cependant encore la même chose dans la suite, lorsqu'il sera question de tracer les lignes courbes qui forment les côtés de la carene dans le sens de sa longueur. Mais on peut dans l'usage ordinaire supposer toujours que le lest est deux fois plus pesant que l'eau marine, parce que si on y mêle quelques parties de fer, il faut aussi y comprendre d'autres choses beau-

coup plus legeres, comme le poids de toutes les munitions de bouche. Il ne restera plus après cela qu'à se ressouvenir du Théoreme établi dans le Livre précédent * ; que lorsqu'on ajoute par en bas aux deux côtés de la carene APPB (Fig. 61.) deux triangles POp & que la pesanteur spécifique du lest est double de celle de l'eau de mer, la stabilité du navire qui étoit exprimée par APPB multipliée par la quantité Gg, se trouve augmentée des deux petits triangles OPp multipliés par la quantité HK dont leur centre de gravité particulier est plus bas que la surface MM du lest. C'est-à-dire, que nommant E l'étendue AOPPOB, & e l'étendue des deux petits triangles ajoutés OPp, on aura, comme dans l'endroit déja cité, $E \times Gg$ pour la stabilité du navire dans le premier cas, & $e \times HK$ pour l'augmentation qu'elle reçoit dans le second ; ou $E \times Gg \pm e \times HK$ pour cette seconde stabilité entiere, selon qu'on a ajouté ou retranché les deux petits triangles. L'augmentation ou la diminution, au lieu d'être $e \times HK$, sera $\overline{n - 1} \times e \times HK$, si la pesanteur spécifique du lest est plus grande que celle de l'eau marine le nombre de fois n. Il est clair après cela que le navire doit soutenir une plus grande voilure, dans la circonstance présente, lorsque les deux petits triangles sont ajoutés ; mais on doit remarquer qu'il n'est pas permis d'augmenter l'étendue des voiles dans le même rapport que la stabilité est plus grande. La voile a toujours la même largeur, puisque nous ne changeons point la largeur du navire par en haut : il n'y a que la hauteur de la mâture que nous augmenterons plus ou moins. Mais en même tems que nous l'augmentons, son centre d'effort qui est au milieu de sa hauteur, se trouve plus haut; & cela fait que son moment augmente sensiblement comme le quarré de sa hauteur. Or comme c'est ce moment qui doit être égal ou proportionnel à la stabilité du navire, qui n'est elle-même autre chose qu'un moment, il est clair que ce n'est pas la hauteur de la voile, mais le quarré de cette hauteur, qui doit augmenter en même raison que la

* Chap. 9. Sect. 2.

Fig. 61.

ſtabilité : & il ſuit de-là que la hauteur de la voile doit changer à peu près deux fois moins à proportion que la ſtabilité. Car lorſqu'un quarré reçoit un très-petit changement, ſon côté n'en reçoit à proportion qu'un deux fois moindre.

Fig. 61.

Ainſi lorſque la ſtabilité du navire, qui étoit $E \times Gg$, recoit la petite augmentation $e \times HK$ & devient $E \times Gg + e \times HK$ par l'addition des deux petits triangles OPp aux deux côtés de la carene, la hauteur de la voile ou ſon étendue, au lieu d'être augmentée dans le rapport de $E \times Gg$ à $e \times HK$, ne le doit être que dans celui de $E \times Gg$ à $e \times \frac{1}{2} HK$, ou généralement dans celui de $E \times Gg$ à $e \times \frac{n-1}{2} \times HK$. Cela ſuppoſé, & nous bornant toujours au cas particulier, il ne nous reſte plus, pour décider ſûrement s'il eſt avantageux d'ajouter ou de retrancher les deux petits triangles OPp, qu'à voir ſi $e \times \frac{1}{2} HK$ comparé à $E \times Gg$, eſt plus ou moins grand que e par rapport à E. Car de même que $e \times \frac{1}{2} HK$ comparé à $E \times Gg$ repréſente le petit changement qu'on peut faire à la grandeur de la voile & à l'effort total du vent, e comparée à E exprime le petit changement que reçoit la réſiſtance de l'eau; puiſque le conoïde qui forme la proue eſt toujours cenſé recevoir de la part de l'eau, une impulſion qui eſt une certaine partie de celle que reçevroit la ſurface E ou $E + e$ qui lui ſert de baſe.

Nous avons maintenant trois cas à diſtinguer, 1°. Si Gg eſt égal à la moitié de HK, il y aura même rapport de $e \times \frac{1}{2} HK$ à $E \times Gg$ que de e à E, & comme il faudra alors augmenter l'étendue des voiles ou leur hauteur, préciſément dans le même rapport que l'étendue E de la coupe APPB, il n'y aura ni avantage ni deſavantage à donner plus ou moins de plat aux varangues, ou à ajouter ou à retrancher les deux petits triangles OPp à la carene : car l'étendue de la voile ſuivant préciſément le même rapport dans ſon changement, que l'étendue de la coupe APPB dans le ſien, on ne gagneroit pas plus de la part de l'impulſion du vent, qu'on ne perdroit en même tems du côté de

Fig. 61. la résistance de l'eau. 2°. Si $\frac{1}{2}$ HK est plus grande que Gg ; le produit $e \times \frac{1}{2}$ HK sera plus grand par rapport à $E \times Gg$, que e par rapport à E. On pourra augmenter par conséquent l'étendue de la voile en plus grand rapport qu'on ne fera augmenter l'étendue de la coupe APPB, & il y aura donc de l'avantage à augmenter le plat des varangues ou à ajouter les petits triangles OPp. Enfin, 3°. Si $\frac{1}{2}$ HK est moindre que Gg, le produit $e \times \frac{1}{2}$ HK sera moindre par rapport à $E \times Gg$, que e par rapport à E. Ainsi lorsqu'on augmentera l'étendue E de la coupe APPB de la quantité e, on ne pourra pas procurer une si grande augmentation à l'étendue de la voile, & il y auroit donc alors du désavantage ; on perdroit plus par la plus grande résistance de l'eau, qu'on ne gagneroit du côté de l'impulsion du vent. Or c'est ici le cas qui a lieu dans les frégates legeres & dans toutes les autres especes de navires qui ne sont destinés qu'à bien marcher. Dans la gazelle, par exemple, le centre de gravité G est au-dessous du métacentre g d'environ 5 pieds, en même tems que le lest peut occuper à peine dans la cale 7 ou 8 pieds de hauteur EK. La moitié de HK ne peut donc pas manquer d'être moindre que Gg, & par conséquent $e \times \frac{1}{2}$ HK est toujours moindre par rapport à $E \times Gg$, que e par rapport à E.

Il suit de-là qu'au lieu d'augmenter le plat des varangues dans les frégates legeres, il faut au contraire en retrancher ; parce qu'on fera plus diminuer à proportion la résistance de l'eau, qu'on ne sera obligé de diminuer en même tems l'étendue des voiles La diminution de la résistance de l'eau sera toujours exprimée par e comparée à E, & il est évident toutes les fois que $\frac{1}{2}$ HK $<$ Gg, que cette diminution sera plus grande que celle qu'on fera à la hauteur ou à l'étendue de la voile qui est exprimée par $e \times \frac{1}{2}$ HK comparé à $E \times Gg$, ou par $e \times \frac{\frac{1}{2}HK}{Gg}$ comparé à E. On doit donc retrecir la carene par en bas le plus qu'on peut, & il y a souvent à gagner à faire disparoître le plat des varangues. Il est vrai que toutes les suppositions que nous

avons faites sur la situation du centre de gravité, sur celle du métacentre & sur la hauteur du lest, peuvent bien s'éloigner un peu du vrai; mais elles ne s'en éloigneront jamais assez pour nous faire tromper dans nos conclusions.

Fig 4.

Au reste, on doit remarquer que s'il y a de l'avantage dans les frégates de retrancher de l'étendue de la carene en bas par les côtés, il n'est ici question que de toucher aux seules largeurs sans diminuer la profondeur. C'est la grandeur de cette derniere dimension qui procure au navire, avec plusieurs autres avantages, la proprieté de dériver moins, proprieté qui doit nous être encore plus précieuse que celle de naviger avec promptitude. Nous avons indiqué dès le commencement de ce troisieme Livre une cause qui contribue peut-être beaucoup à faire diminuer la dérive, lorsqu'on augmente la profondeur du navire *. Mais outre cela, plus le navire a de creux, plus il plonge en bas dans une eau tranquille, & moins il participe à l'agitation des vagues qui ne sont que superficielles, & qui poussant de côté dans les routes obliques, causent une dérive accidentelle, mais très-grande, qui se joint à la premiere. Le seul moyen d'y remedier, c'est de rendre la carene plus profonde.

* Voyez le chap. 2. art. 2.

Nous conclurons cet article, en ajoutant qu'on pourra se contenter de donner aux coupes des frégates une figure exactement circulaire : ce sera toujours perfectionner la forme qu'elles ont actuellement. Mais nous montrerons plus bas, que si on vouloit saisir tout d'un coup la disposition la plus avantageuse, sans s'arrêter à corriger peu à peu les pratiques qui sont actuellement en usage, il faudroit rendre les flancs exactement des lignes droites depuis le haut jusqu'en bas; & alors on donneroit à la premiere coupe la figure ou d'un trapeze ou d'un simple triangle, selon que le poids des parties supérieures du navire obligeroit de donner plus de plat à la varangue, ou permettroit de le supprimer entierement. Il faudroit dans ce dernier cas que les ports & les autres endroits fréquentés par la frégate ou plutôt par la corvette, n'asséchassent jamais. La premiere

Fig. 61.

coupe de la carene se trouvant alors réduite à la moindre étendue, la proue trouveroit une moindre quantité d'eau dans son chemin, & le sillage en deviendroit plus rapide. La corvette auroit encore un autre avantage; elle dériveroit beaucoup moins. Car on doit se souvenir que lorsqu'on fait diminuer la résistance que souffre la proue selon son axe, on fait augmenter au moins relativement la résistance dans le sens latéral *; & il résulte toujours de cette augmentation une moindre déviation ou dérive dans les routes obliques.

* Voyez la fin du chap. 8 de la premiere sect. de ce troisieme Livre.

III.

Enfin, s'il s'agit d'un vaisseau de guerre, qui doit être considérablement chargé par en haut par le poids de ses ponts & de son artillerie, on peut le considerer comme tenant une espece de milieu entre les frégates legeres & les bâtimens de charge; & si sa carene ne doit pas être exactement circulaire, & avoir encore moins des triangles pour ses coupes, elle ne doit pas non plus être plate par-dessous comme dans les bâtimens de charge. A l'aide de quelques suppositions & des regles précédentes, il sera toujours facile de reconnoître la figure à lequelle il faudra s'arrêter, si on veut que le navire ait toujours la proprieté de singler avec la plus grande vîtesse possible, c'est ce que nous allons éclaircir par un exemple.

Supposons qu'en donnant la figure AOPPOB à la carene dans laquelle les points O, d'où on peut tirer commodement les tangentes ou les droites O*p*, O*p*, pour élargir la carene par en bas, sont élevés de *6* pieds de hauteur verticale au-dessus de l'horisontale PP, le centre de gravité commun G du vaisseau & de son lest se trouve $3\frac{1}{2}$ pieds au-dessous du métacentre, & que le lest ait 9 pieds de hauteur, il sera facile de reconnoître qu'on a rencontré la figure convenable, & qu'il ne faut augmenter ni diminuer le plat PP qu'on a donné à la maîtresse varangue. Car le centre de gravité H des deux triangle PO*p* qu'on pourroit ajouter ou retrancher étant au tiers de leur hauteur, sera élevé de 2

Fig. 88.

pieds, & sera par conséquent 7 pieds au-dessous de la surface MM du lest. Or $\frac{1}{2}$ HK étant égal à Gg, il y auroit même rapport de $e \times \frac{1}{2}$ HK à E × Gg que de *e* à E : ainsi supposé qu'on augmentât ou qu'on diminuât l'étendue E de la coupe APPB, de la petite quantité *e*, on ne pourroit augmenter ou diminuer l'étendue de la voile que dans le même rapport ; & il n'y auroit donc rien à gagner ni à perdre du côté de la vîtesse. Or c'est ce qui caractérise, comme le savent tous les Géometres, le *maximum* ou la disposition la plus parfaite. Mais si la surface MM du lest, au lieu d'être élevée de 9 pieds, l'est de 10, alors $\frac{1}{2}$ HK sera plus grande que Gg, & le produit E × $\frac{1}{2}$ HK étant plus grand par rapport à E × Gg, que *e* par rapport à E, il y aura de l'avantage à élargir la carene un peu plus par en bas, & même à élever, si on le peut, les points O d'où partent les tangentes O*p*, O*p* : car on pourra augmenter l'étendue de la voile dans un plus grand rapport qu'on n'aura augmenté l'étendue E de la coupe de la carene. *Enfin tout consiste à savoir si* $\frac{1}{2}$ HK *est égale ou plus petite, ou plus grande que* Gg. *Si ces deux quantités sont égales, on a rencontré la figure* APPB *la plus convenable. Si* $\frac{1}{2}$ HK *est plus grande que* Gg, *il faut élargir encore la carene par en bas, & si* $\frac{1}{2}$ HK *est moindre que* Gg, *il faudra faire tout le contraire.*

IV.

Mais si on veut, en prenant les choses de plus loin, se décider d'une maniere encore plus sûre & qui soit applicable aux frégates comme aux vaisseaux de guerre, il n'y a qu'à avoir recours à la solution générale que nous avons donnée par voie d'approximation dans le premier article du Chapitre précédent. On n'aura qu'à calculer *l'exposant* ou *l'argument* de la vîtesse du sillage pour trois différentes suppositions ou hypotheses de plat PP de la varangue ; & pour n'être pas obligé d'y revenir, il n'y aura qu'à former les deux flancs AP, BP par deux lignes droites qui partiront des points A & B de la flottaison même. On cherchera d'abord pour la premiere hypothese, la résistance que doit

Fig. 51. éprouver la proue, de même que l'étendue des voiles que peut porter le navire; & on divisera cette seconde grandeur par la premiere. On fera la même chose, en supposant que PP est successivement plus grand d'une certaine quantité (e) & d'une quantité double ($2e$); & les trois exposans a, b & c étant trouvés de cette sorte, la formule $z = \frac{3a - 4b + c}{2a - 4b + c} \times e$ marquera la quantité z dont le plat PP de la varangue, qu'on avoit supposé en premier lieu, doit être augmenté ou diminué, pour que le vaisseau single le plus vîte qu'il est possible. Il n'importe que z soit positive ou négative, il n'y aura qu'à se conformer exactement à la formule, il est certain que le navire marchera avec plus de rapidité. Mais on verra par une remarque que nous ferons dans la suite, qu'il pourra arriver, lorsque z sera positive, que la dérive ne diminue pas, quoique la vîtesse du sillage devienne plus grande.

Il ne nous reste plus qu'à montrer que la figure la plus avantageuse qu'on peut donner à la premiere coupe de la carene est celle d'un trapeze ou d'un triangle rectiligne, aussi-tôt qu'on ne veut pas se permettre de courber ses flancs en dedans. Pour prouver qu'on ne doit pas approuver les figures qu'on employe actuellement dans la Marine ni aucune autre qui en approche, nous n'avons qu'à jetter les yeux sur la figure 54 dans laquelle la ligne AB marque la flottation ou la ligne d'eau, & OO la surface supérieure du lest qui occupe toute l'étendue OTEVO. Je dis donc que sans nous arrêter à chercher quelqu'autre ligne courbe pour en former le contour AOEOB, nous n'avons qu'à tirer tout d'un coup les droites AP & BP, en rendant les espaces TPE & VPE de même grandeur ou un peu plus grands que les espaces ORT & OSV; & qu'il est certain que le trapeze rectiligne APPB sera plus avantageux que l'autre figure AOEOB. Premierement, le navire aura plus de stabilité & pourra soutenir mieux la voile: car en faisant passer le lest qui occupoit les espaces ORT, OSV dans les deux autres espaces TPE, VPE, le centre de gravité du

tout

tout ſera plus bas, & par conſéquent la charge, même un peu diminuée, aura plus de moment par rapport au métacentre. En ſecond lieu, le trapeze APPB aura ordinairement un peu moins d'étendue que n'en avoit l'autre figure, ce qui fera diminuer le volume d'eau que le navire choque pendant ſa marche ; mais quand même cette étendue ne ſeroit pas moindre, le trapeze ſera cependant toujours plus propre à ſervir de baſe à un conoïde qui ſouffrira moins de réſiſtance de la part de l'eau, comme on le verra dans la ſection ſuivante. Ainſi on gagne de toutes manieres à ſubſtituer la figure rectiligne à la curviligne. Cette figure ſera un rectangle dans les bâtimens de charge ; elle deviendra un trapeze moins large par en bas dans les vaiſſeaux de guerre, de même que dans les frégates ; & enfin la largeur par en bas ſe réduiſant quelquefois à rien, le trapeze ſe changera en un ſimple triangle dans les corvettes. Fig. 61.

CHAPITRE VIII.

De la groſſeur qu'il faut donner aux vaiſſeaux par rapport à leur longueur pour qu'ils portent mieux la voile ; avec le moyen d'augmenter extraordinairement la rapidité de leur ſillage.

NOUS n'avons examiné juſqu'à préſent que la forme de la coupe verticale du navire faite perpendiculairement à ſa longueur : mais ſçavons-nous quelle grandeur on doit donner à cette coupe, ou ce qui revient au même, ſçavons-nous quelle largeur on doit donner au vaiſſeau ? Cette largeur étant déterminée, la grandeur de la coupe le ſera auſſi ; puiſque nous venons d'aſſujettir ſa figure à ſa largeur. Ainſi il ne s'agit pas ici de changer ſeulement la largeur ou ſeulement la profondeur, mais de changer ces

deux dimensions en même tems, ou le rapport qu'elles ont avec la longueur de la carene.

I.

Plus on augmente l'étendue de la coupe, plus le navire, dont nous supposons que la longueur reste la même, a de capacité, plus il a de pesanteur, plus cette pesanteur est appliquée au-dessous du métacentre; & plus par conséquent elle a de force relative ou de moment pour soutenir l'effort du vent, & on peut donc donner plus d'étendue aux voiles. Nous avons montré en effet dans le premier Livre *, que lorsqu'on augmente la largeur & la profondeur du navire proportionnellement, sans toucher à sa longueur, on peut sans risque augmenter la largeur & la hauteur des voiles dans le même rapport. Si, par exemple, on a doublé la largeur du vaisseau & son creux, l'étendue de chacune de ses coupes sera quatre fois plus grande, le navire aura quatre fois plus de pesanteur, & comme son centre de gravité sera deux fois plus bas, par rapport au métacentre, la stabilité ou la force pour soutenir la voile sera comme le cube de la largeur, ou huit fois plus grande. Si on double aussi la largeur & la hauteur des voiles, leur surface sera quatre fois plus étendue, & le centre d'effort étant en même tems deux fois plus haut, le moment, ou la force relative avec laquelle le vent travaillera à faire verser le navire, sera également huit fois plus grand, & ne sera donc toujours que maintenir l'équilibre avec l'autre force.

* Art. III. chap. III. section 2.

II.

Mais il n'est pas question de sçavoir si le navire qu'on rend plus large peut, absolument parlant, porter plus de voiles; on demande, si la quantité qu'il en peut soutenir devient plus grande par rapport à la résistance de l'eau qui s'oppose à la rapidité du sillage & qui se trouve aussi acrue. Si la proue avoit une figure parfaitement semblable dans les deux cas, ou si lorsque la premiere coupe est plus éten-

due, la proue avoit en même tems plus de longueur ou plus de faillie, la résistance de l'eau n'augmenteroit que selon l'étendue de la premiere coupe; & il y auroit dès-lors une parfaite compensation; pourvu qu'on n'augmentât pas davantage les dimensions de la mâture. Car l'obstacle que met l'eau au mouvement du sillage, augmentant autant que l'effort du vent qui tend à l'accelerer, la vîtesse de la marche resteroit exactement la même. Mais aussi-tot que la longueur du navire ne change pas pendant qu'on le rend plus gros, la proue est non-seulement un conoïde qui a une plus grande base, elle est aussi plus obtuse, & par ce dernier chef elle doit éprouver plus de résistance à proportion. Il suit de-là qu'il n'y a point d'avantage à acquerir pour la promptitude du sillage, comme cela pouvoit paroître d'abord, lorsqu'on élargit le vaisseau; & que c'est tout le contraire. Car pour revenir à la supposition particuliere que nous avons faite; en augmentant la largeur & la profondeur de la carene deux fois, on ne peut donner que quatre fois plus d'étendue aux voiles: au lieu que la résistance de l'eau contre la proue augmente en même tems beaucoup plus de quatre fois; elle devient peut-être plus de cinq à six fois plus grande, parce qu'outre que l'eau rencontre une surface quatre fois plus grande, elle en rencontre toutes les parties plus directement. Qu'on retrecisse au contraire le vaisseau, & qu'on diminue sa profondeur, il singlera ensuite beaucoup plus vîte: car on fera toujours diminuer la résistance de l'eau dans un plus grand rapport qu'on ne sera obligé de diminuer l'étendue des voiles.

Pour voir jusqu'où peut aller la différence, proposons-nous un navire composé de deux cones joints par leur base comme dans la figure 92: l'un de ces cones DAFE formant la proue, & l'autre DBEF la poupe. Supposons outre cela que l'axe HA de la proue soit de huit parties, pendant que sa largeur ou le diametre DF de la coupe DEF sera aussi de huit. Si on retrecit ce navire quatre fois plus, ou de maniere que sa largeur ne soit plus que de deux par-

Fig. 92.

Fig. 92. ties, il faudra ensuite donner quatre fois moins de largeur & quatre fois moins de hauteur aux voiles, & elles auront donc seize fois moins de surface. Mais outre que l'étendue de la coupe DEF sera aussi seize fois plus petite, & que la proue seize fois moins grosse rencontrera seize fois moins d'eau, elle la rencontrera plus obliquement à raison de sa figure plus aigue, ce qui fera encore diminuer l'impulsion treize fois. Tout compté, la résistance sera 208 fois moindre, comme on peut le voir par les méthodes que nous avons données, pour mesurer l'effort des fluides contre les surfaces courbes. Ainsi si l'on perd extrêmement du côté de l'impulsion du vent, cette perte sera réparée, & le sera avec excès, du côté de la résistance de l'eau, qui deviendra encore beaucoup plus petite, & qui s'opposera beaucoup moins au sillage.

La grande conséquence de la chose nous oblige à le repeter encore; des deux diminutions que reçoit la résistance que trouve le navire à fendre l'eau, il ne faut pas compter la premiere, celle qui vient de ce que la carene moins grosse rencontre une moindre quantité d'eau : il ne faut pas compter cette premiere; puisque d'un autre côté la grandeur des voiles doit être diminuée sensiblement dans le même rapport. Mais il reste donc toujours l'autre diminution toute entiere qui doit permettre au sillage de devenir plus rapide, celle qui vient de ce que toutes les parties de la proue en rencontrant avec plus d'obliquité les molécules d'eau qui sont sur leur chemin, en sont frappées avec moins de force, & de ce que c'est encore une moindre partie de cette impulsion qui s'exerce dans le sens de la route. Nous pouvons par conséquent donner cette regle pour générale, que *lorsqu'on n'a en vue que les seuls avantages de la marche, on ne sauroit porter trop loin la diminution de la grosseur de la carene, pendant qu'on ne touche point à sa longueur.* Pour obtenir enfin un navire absolument parfait, il faudroit pouvoir le rendre infiniment étroit; ce qui obligeroit de lui donner une infinité de mâts & de voiles, selon la regle établie à la fin du premier chapitre de la section précédente.

III.

Un pareil navire ne trouvant qu'une résistance infiniment petite à fendre l'eau, ne seroit sujet à aucune dérive dans les routes obliques, comme l'ont déja remarqué Mrs Huyghens & Bernoulli. Mais en joignant les nouvelles considérations que nous faisons entrer dans cette matiere, il est certain que quelque peu étendues que soient les voiles dans ce cas, leur surface sera comme infinie par rapport à la surface de la proue; c'est-à-dire, par rapport à la surface plane qu'on peut considerer à la place de la proue, eu égard à la quantité de l'impulsion qu'elle reçoit. Or il suit de-là, que le navire infiniment étroit, seroit précisément dans le même cas que celui dont nous parlions vers la fin du Chapitre V. de la seconde Section. Il n'importe en effet que les voiles soient infiniment grandes, comme nous le supposions, ou que ce soit la proue qui soit infiniment aigue; le rapport d'une impulsion à l'autre étant également infini, le navire doit dans la route directe prendre toute la vîtesse du vent, & en prendre encore une plus grande dans les routes obliques. Rien de sa part ne peut alors retarder ou plutôt limiter son mouvement; puisque si l'inertie l'empêche de le recevoir tout-à-coup, elle ne l'empêche pas de le recevoir peu-à-peu; & que nous ne le considerons ici, que lorsqu'il est déja parvenu à sa plus grande vîtesse, ou à celle qui est uniforme. Mais cet avantage si extraordinaire d'aller plus vîte que le vent, qui est également propre aux navires dont les voiles sont infiniment grandes & aux navires qui sont infiniment étroits, ne doit pas se perdre tout-à-coup, lorsqu'on passe du Métaphysique au Physique, ou lorsqu'on commence à donner quelques degrés de grosseur à la carene. Les premiers degrés qu'on ajoute à cette dimension, ne peuvent causer que quelques degrés de diminution dans la qualité dont il s'agit, vu la gradation qui s'observe dans la nature ou dans l'ordre primordial des choses.

C'est-à-dire, que la moindre largeur qu'on donnera au navire, ralentira, il est vrai, sa marche; mais qu'elle ne lui fera cependant perdre qu'une partie de l'excès de sa vîtesse sur celle du vent, & qu'elle lui permettra d'aller toujours un peu plus vîte. Il suffira pour cela que l'étendue des voiles soit toujours très grande, par rapport au plan auquel se réduit la proue rendue très-aigue.

Il ne sera pas difficile, aussi-tôt qu'on employera les différentes méthodes que nous avons données dans ce troisieme livre, tant pour assigner à la mâture ses dimensions, que pour déterminer le rapport des impulsions du vent & de l'eau, de découvrir quel est le retrecissement précis de la carene, qui fait que le navire commence à jouir de cette propriété. Nous laissons au lecteur à s'assurer qu'une frégate qui seroit 18 ou 19 fois plus longue que large, se trouveroit déja dans ce cas; & que s'il étoit permis de la retrecir encore deux fois plus, il suffiroit d'orienter ses voiles de maniere qu'elles fissent avec la quille un angle d'environ $19\frac{1}{2}$ degrés, ou un angle dont le sinus fût le tiers du sinus total, pendant qu'elles seroient frappées perpendiculairement, pour que la frégate singlât avec une vîtesse, non pas simplement égale à celle du vent, mais qui la surpassât d'un tiers ou d'un quart. Enfin l'utilité pour la pratique, qu'on ne manquera pas de retirer de toutes les remarques précédentes, c'est qu'il ne sera plus permis de douter que ce ne soit dans le sens que nous le prétendons, qu'il faut travailler toujours à changer les dimensions de la carene; malgré l'usage constant de toutes les nations qui fréquentent la mer, & ce qu'on a pensé jusqu'à présent sur cette matiere.

IV.

Si on se trouve arrêté par différentes considérations, lorsqu'il s'agit des bâtimens de transport, ou lorsqu'il s'agit des vaisseaux de guerre qui demandent à avoir une certaine largeur, non-seulement pour le service de l'artillerie, mais aussi parce que leur centre de gravité est fort haut

& trop voisin du métacentre, on satisfera également au précepte, en allongeant ces navires. Il faudra seulement se souvenir que pour ne pas rendre cet allongement infructueux, la proue ne doit pas moins y participer que les autres parties. Il est vrai qu'à l'égard des plus grands vaisseaux on ne pourra pas, faute de matériaux assez forts, les allonger beaucoup ; mais aussi-tôt qu'on ne sera gêné par aucun obstacle particulier, il n'y aura toujours qu'à diminuer assez la largeur ou augmenter assez la longueur, pour que l'une ne soit que la sixieme ou la septieme partie de l'autre. Les navires en singleront non-seulement plus vîte ; ils dériveront encore beaucoup moins dans les routes obliques, & *pinceront* donc mieux le vent. Il en résultera plusieurs autres utilités sur lesquelles nous n'insisterons pas : la mâture étant beaucoup moins haute à proportion, & les voiles beaucoup moins larges, elles ne fatigueront plus le navire ; elles seront incomparablement plus legeres ; & n'étant exposées qu'à une impulsion beaucoup plus petite, elles cesseront d'être sujettes aux accidens, & il ne faudra toujours que peu de gens pour la manœuvre. Il faut remarquer enfin que ce n'est qu'en observant cette maxime importante, mais en insistant aussi sur toutes les autres qui ont la rapidité du sillage pour objet, qu'on réussira à rendre dans les frégates la vîtesse de la marche égale à la moitié de celle du vent ; au lieu qu'elle n'en est actuellement que le tiers. On a vu dans la seconde section * qu'il ne faut guere s'attendre de pouvoir faire accelerer le sillage, par l'augmentation des voiles ; il faudroit les étendre extrêmement, & elles ne le sont déja souvent que trop. Mais lorsqu'on substituera au contraire à la proue trop renflée & trop courte, qu'ont actuellement les vaisseaux, une figure plus aigue & plus propre à fendre l'eau, on en tirera déja un avantage considérable. La résistance qu'éprouvera ensuite le navire se trouvera plus de trois fois moindre ** : & si avec cela on diminue encore la grosseur de la carene, ou qu'on augmente sa longueur, on atteindra par ces deux changemens, principalement par le der-

* Chap. 5. art. 4.

** Voyez le chap. premier de la seconde sect. art. 2.

nier, à un degré de perfection auquel il n'eut jamais été possible d'atteindre par la seule augmentation de l'impulsion du vent. C'est cependant à l'expérience à montrer si on ne peut pas gagner encore quelque chose par ce second côté, en donnant quatre mâts verticaux aux navires qui sont fort étroits ou fort longs, ainsi que nous l'avons proposé.

V.

On ne doit pas au reste nous objecter que les pirogues, ou ces especes de canots faits d'un seul tronc d'arbre, qui sont en usage dans la Zone Torride, portent mal la voile & ont d'autres défauts considérables. Car tous les inconveniens ausquels ils sont sujets, ne viennent qu'indirectement de ce qu'ils sont trop étroits. Ils naissent de ce que la charge ne peut pas être distribuée de la même maniere que dans les vaisseaux. Le poids d'un seul homme est considérable par rapport à celui de ces pirogues, qui sont 8 ou 9 fois, & quelquefois 14 ou 15 fois plus longues que larges; & le centre de gravité du tout est ordinairement trop haut. Du tems du P. Fournier, la frégate *la Levrette* qui devoit avoir plus de 108 ou 110 pieds de longueur, n'en avoit que 18 de largeur; & elle marchoit d'une maniere extraordinaire *. C'est comme une expérience anticipée de la bonté de nos assertions. On en trouveroit encore quelques autres s'il le falloit : & il est évident que de pareils exemples sont parfaitement concluants en notre faveur; pendant que cent autres qui paroissent contraires, ne prouvent absolument rien. Il suffit qu'un navire, entre mille, ait bien réussi, quoi qu'il fût très-étroit; il suffit même qu'il ait bien réussi dans une seule campagne, pour que cet exemple démontre d'une maniere incontestable, & indépendamment de toutes les raisons précédentes qui établissent la même vérité, qu'il faut attribuer à quelqu'autre cause le défaut ordinaire de succès des autres navires construits à peu près sur le même modele. Comme on a consenti trop volontiers à se privet de toutes les lumieres que fournit

* Voyez l'Hydrogra. de cet Auteur, liv. 1 chapitre IV.

fournit la théorie, on n'a operé qu'au hazard, auſſi-tôt qu'on a voulu s'éloigner des pratiques communément reçues : on s'eſt trouvé dans l'impoſſibilité de diſtinguer les cas où il falloit augmenter ou diminuer quelqu'une des dimenſions du vaiſſeau, & on n'a pas ſoupçonné non plus qu'un premier changement en entraînoit toujours pluſieurs autres ; ce qui a empêché de profiter quelquefois d'un avantage qui n'eût rien coûté, ou ce qui a fait tomber dans des fautes dont les ſuites étoient encore plus fâcheuſes.



CINQUIEME SECTION.

Du navire considéré par rapport à la rapidité de son sillage, & à la proprieté qu'il doit avoir de dériver peu dans les routes obliques.

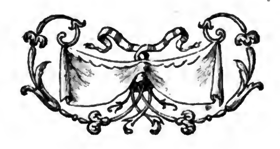
LE Lecteur qui s'est rendu propres toutes les recherches précédentes, est non-seulement en état de se décider désormais avec pleine connoissance de cause sur le choix de tous les divers plans de vaisseaux qu'on proposera, & d'en tirer tout le parti possible; il peut aussi procurer aux navires la plûpart des proprietés que nous avons déja examinées. Mais il nous reste cependant encore à indiquer, d'une maniere plus particuliere, les moyens de conferer plus de promptitude au sillage par la figure qu'on peut donner à la carene, & de faire ensorte que la dérive soit la moindre qu'il est possible dans les routes obliques. Nous n'avons réussi à cet égard qu'à regler les principales dimensions du navire: il s'agit maintenant, en supposant ces dimensions données, de découvrir la courbure précise que doivent avoir les flancs & toute la surface extérieure de la carene dans le sens de leur longueur.

Il paroît assez, par diverses remarques qui se sont offertes à nous, qu'il est très-douteux que la figure qui fend l'eau avec plus de facilité, soit absolument la plus avantageuse pour rendre le sillage rapide: car il est possible qu'une proue qui éprouve un peu plus de résistance, rende le navire capable de soutenir à proportion une plus grande quantité de voiles. Il peut donc arriver que ce soit encore ici une de ces circonstances fâcheuses où nous nous

ſommes déja trouvés plus d'une fois, dans leſquelles ne pouvant pas parvenir à concilier à la navigation tous les avantages que nous avions en vue, il a fallu ſacrifier aux uns une partie des autres. Cependant les deux différentes figures de proue qu'on peut diſtinguer, en nommant l'une *de la moindre réſiſtance*, & l'autre *de la plus grande vîteſſe*, doivent avoir beaucoup d'affinité entr'elles ; & dans pluſieurs cas l'une doit acquérir ſenſiblement toutes les propriétés de l'autre. C'eſt d'ailleurs la figure qui éprouve la moindre réſiſtance qu'il eſt évident qu'on doit donner à tous les navires qui ne ſont pas de charge & qui ſont principalement deſtinés à aller à rames, & c'eſt encore cette figure, comme nous l'avons prouvé *, qui fait à l'égard de chaque genre, que la déviation dans les routes obliques eſt la moindre qu'il eſt poſſible. Nous devons naturellement commencer nos recherches par ſa détermination ; puiſqu'elle eſt la plus ſimple. Nous ne paroîtrons occupés que de l'unique ſoin de diminuer l'impulſion ou la réſiſtance dans la route directe : mais on ſe ſouvient qu'il ſuffit de donner à une figure la proprieté dont il s'agit dans cette ſeule route, pour que la même proprieté ſubſiſte dans toutes les autres. Nous l'avons vu dans la premiere ſection de ce troiſieme Livre **.

* A la fin du chap. 8. de la premiere ſection de ce 3e livre.

** Voyez la fin du chap 7.



CHAPITRE PREMIER.

Examen des figures les plus simples qui reçoivent le moins d'impulsion qu'il est possible de la part des milieux dans lesquels elles se meuvent.

I.

Fig. 101.

IMAGINONS-nous une ligne droite B*b* (Fig. 101.) exposée au choc d'un fluide qui la rencontre perpendiculairement, ou qui suit une infinité de lignes paralleles à CA, & à DB; & proposons-nous, en la garantissant du choc du fluide par deux lignes obliques égales BE, *be*, & par une troisieme E*e* parallele à B*b*, & placée au-devant à une distance donnée CA, de faire ensorte que l'impulsion directe, ou dans la détermination parallele à l'axe CA, sur l'assemblage des trois droites BE, E*e*, *be*, soit la moindre qu'il soit possible. C'est-à-dire, qu'il s'agit d'augmenter ou de diminuer la longueur de la portion E*e*, & de rendre BE & *be* plus ou moins obliques, jusqu'à ce que l'impulsion sur ces trois lignes jointes ensemble soit un *minimum*.

La figure étant égale des deux côtés de l'axe CA, il suffit d'examiner une de ses moitiés. La ligne DB, parallele à CA, peut représenter la direction du fluide, & si du point D, qui est sur le prolongement de E*e*, on abaisse la perpendiculaire DF sur BE, cette perpendiculaire sera le sinus de l'angle d'incidence DBE du fluide sur BE. Il n'y a ensuite qu'à abaisser du point F la perpendiculaire FG sur DB, & la partie interceptée DG représentera le quarré du sinus d'incidence, pendant que DB, pris pour l'unité, représenter a aussi bien le quarré du sinus total que le sinus total même : car nous avons la proportion continue || DB | DF | DG, qui nous fournit cette autre DB | DF || DB | DG. Ceci est vrai, quelque situation qu'on donne à BE; & il

évident que l'angle DFB étant toujours droit, tous les points F sont sur une demi-circonférence de cercle DFB qui a DB pour diametre. Maintenant pour avoir l'impulsion relative directe sur BE, il ne faut pas multiplier le quarré DG du sinus d'incidence par BE, ce qui nous donneroit l'impulsion absolue selon la perpendiculaire à ce côté : il faut multiplier seulement DG par DE. Mais si on tire FH parallelement à DB, nous pouvons prendre à la place du produit de DG par DE, celui de DB par HE, qui lui est égal, puisque DB | DE || HF = DG | HE. Ainsi nous pouvons exprimer l'impulsion relative directe sur BE par le rectangle de DB & de HE; & il ne nous reste donc qu'à joindre à cette impulsion celle que reçoit CE, pour avoir l'impulsion entiere dans le sens direct que souffre la figure BEC, moitié de la proue.

Fig. 101. & 102.

La partie EC étant frappée perpendiculairement de même que l'étoit AB, il faut pour avoir l'impulsion à laquelle elle est exposée, la multiplier par le quarré du sinus total qui est exprimé par DB. Il suit de là que l'impulsion sur l'assemblage des deux droites BE & EC, est égale à la somme du rectangle de DB par HE, & de DB par EC, ou qu'elle est égale au rectangle de DB par toute HC; & elle est donc proportionnelle à HC ou à la distance FI du point F à la droite CA. Ainsi pour donner à l'assemblage des deux lignes droites BE & EC la disposition qui rend l'impulsion directe un *minimum*, il ne s'agit que de rendre FI la plus petite qu'il est possible. Or il faut pour cela diminuer CE jusqu'à la rendre nulle, ou jusqu'à ce que la ligne BE vienne se rendre en C, comme dans la figure 101; ou au moins jusqu'à ce que BE parvenue à la situation BM, comme dans la figure 102, fasse un angle demi-droit avec BA & avec la direction du fluide, & que l'impulsion qui étoit exprimée par FI, le soit par KL. Il ne faut pas que BM fasse un angle moindre que le demi-droit avec BA; car KL qui exprime l'impulsion deviendroit ensuite plus grande.

Il résulte de tout cela que les lignes droites BC & *b*C

Fig. 101. & 102

(Fig. 101) reçoivent la moindre impulsion directe, aussitôt qu'elles ne font pas un angle de plus de 45 degrés avec la direction du fluide. Mais que dans le cas où il faudroit qu'elles fissent un angle plus grand, il ne faut toujours les incliner précisément que de 45 degrés, comme le font BM & *bm* dans la figure 102; & qu'il faut joindre ensuite les points M & *m* par la droite M*m*. Il est certain encore qu'on ne peut pas substituer à l'assemblage de ces lignes droites une ligne courbe BQC (Fig. 103.) qui reçoive moins d'impulsion dans le sens de son axe. Car si on partage cette courbe en une infinité de petites parties PQ, QR, &c. chaque de ces petites lignes, comme PQ, sera droite, & ne recevra pas la moindre impulsion directe: ce sera l'assemblage des deux petites lignes PT & TQ qu'on y appliquera, dont l'une fera un angle demi-droit avec la direction du fluide, & l'autre un angle droit. C'est ce qui paroît évidemment, puisque tout ce qui est vrai pour des lignes finies, le doit être également pour des lignes infiniment petites. Ainsi, au lieu de la courbe BPRC, ce sera la figure BOPTQVR, &c. qui sera sujette à la moindre impulsion. Mais il est facile de remarquer que cette figure à échellons formée d'une infinité de côtés, est équivalente à l'assemblage des deux seules lignes droites BM & MC. Car toutes les petites lignes BO, PT, QV, &c. sont égales jointes ensemble à BM & sont exposées au choc du fluide de la même maniere; pendant que toutes les petites lignes OP, TQ, VR, &c. sont ensemble équivalentes à MC.

Il ne sera pas beaucoup plus difficile de s'assurer que l'impulsion deviendroit aussi plus grande, si on changeoit les lignes droites des côtés en lignes courbes, lorsque ces deux droites se rencontrent & qu'elles font un angle moindre de 45 degrés avec l'axe. On s'en convaincra, si on le veut, par des réflexions semblables à celles que nous ferons dans l'article II. du chapitre VII.

II.

On peut déja tirer des recherches précédentes quelque utilité par rapport à la construction de divers bâtimens, comme des gabares, des pontons, &c. qui ne sont destinés qu'à naviger sur les rivieres ou dans les endroits fermés. L'avant des pontons est ordinairement terminé par deux plans verticaux qui font un angle BC*b*, & dont la rencontre forme l'extrémité C de la proue; mais nous voyons que ces deux plans (& ce doit être la même chose de ceux qui forment les éperons dont on couvre les piles des ponts,) ne sçauroient faire un angle trop aigu, & que si on étoit forcé de le faire obtus ou de retrancher de la trop grande saillie de l'angle aigu, il vaudroit mieux substituer, comme dans la figure 102, deux plans qui fissent entr'eux un angle droit, ou un angle demi-droit avec la direction du fluide, & retrancher ensuite la pointe de l'angle par un troisieme plan M*m* placé perpendiculairement. Les Chinois, ausquels la singularité de leur Architecture navale nous fait penser si souvent, pourroient observer la même chose dans la construction de leurs vaisseaux, au lieu de former leur proue par un seul plan vertical: ils rendroient la promptitude de leur navigation beaucoup plus grande. On construira enfin des frégates ou des corvettes d'une figure très-simple, en terminant leur carene par quatre plans verticaux, dont deux formeront la proue & les deux autres la poupe, conformément à ce que nous établirons dans la suite *.

Fig. 101. & 102.

* Voyez le chap. 7 art. 6.

III.

Sachant cette proprieté qu'ont les lignes droites d'éprouver de la part des milieux la moindre résistance, on peut encore s'en servir avec avantage, en les faisant entrer dans la composition même des surfaces courbes. Imaginons-nous, par exemple, une surface ABRS (Fig. 104.) formée de lignes droites dans le sens horisontal, mais cour-

Fig. 104.

Fig. 104. be dans le ſens vertical, & compriſe entre deux plans verticaux BCDR & ACDS qui ſe rencontrent dans la verticale DC. C'eſt déja beaucoup que de ſçavoir que chaque des zones horiſontales qui ſervent d'élemens à cette ſurface, reçoit la moindre impulſion; & pour rendre donc l'impulſion ſur toute la ſurface un *minimum*, nous n'avons qu'à déterminer la ſeule courbe BMR. Si nous nommons x les parties variables DG, DK de la verticale DC qui ſert d'axe, & dx les parties infiniment petites KP ou PG qui ſont égales à HN ou ML, & y les ordonnées comme GE, KH, & dy leur differentielle NM; nous aurons $\sqrt{dx^2+dy^2}$ pour l'élement HM de la courbe BER: & ſi le fluide ſe meut parallelement aux ordonnées HK, nous aurons HMN pour l'angle d'incidence dont nous trouverons le ſinus $\frac{ndx}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$ par l'analogie ſuivante, après avoir pris n pour déſigner le ſinus total: $HM=\sqrt{dx^2+dy^2} \mid HN=dx \parallel n \mid \frac{ndx}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$. Le quarré de ce ſinus ſera $\frac{n^2dx^2}{dx^2+dy^2}$, que nous multiplierons par l'étendue de la zone OH, ſi nous voulions avoir l'impulſion abſolue; au lieu que ne voulant avoir que l'impulſion relative directe, nous ne devons, comme on le ſçait, multiplier le quarré du ſinus d'incidence que par l'étendue de la zone OH projettée ſur un plan vertical perpendiculaire à la direction du fluide. La longueur IH de la zone étant proportionnelle à l'ordonnée correſpondante HK, peut s'exprimer par y, & ſi on la multiplie par $HN=dx$, on aura ydx, pour le rectangle auquel ſe réduit la zone, lorſqu'on la projette. Nous avons donc $ydx\times\frac{n^2dx^2}{dx^2+dy^2}$ pour l'impulſion relative directe, & cette expreſſion doit convenir également à toutes les zones.

Nous pouvons maintenant conſiderer que plus on diminue $HN=dx$, en laiſſant $MN=dy$ conſtante, plus l'impulſion

pulsion $yxd \times \frac{n^2 dx^2}{dx^2 + dy^2}$ ou $\frac{n^2 ydx^3}{dx^2 + dy^2}$ diminue ; car la zone IM prend la situation Im, & est moins exposée au choc du fluide & se trouve outre cela plus étroite. Si on prend la différentielle de $\frac{n^2 ydx^3}{dx^2 + dy^2}$, on apprendra que l'impulsion diminue effectivement de la petite quantité $\frac{n^2 ydx^4 + 3n^2 ydy^2 dx^2}{\overline{dx^2 + dy^2}^2} \times ddx$. Cependant ce n'est pas une raison pour diminuer continuellement HN ou dx, car l'impulsion que souffre la zone voisine FM, devient en même-tems plus grande, parce que cette zone en prenant la situation Fm, se trouve ensuite plus large & plus exposée au choc du fluide. Il faut donc faire ensorte que la petite diminution que souffre une impulsion, ou sa différentielle $\frac{n^2 ydx^4 + 3n^2 ydy^2 dx^2}{\overline{dx^2 + dy^2}^2} \times ddx$ soit précisément égale à la différentielle ou à la petite augmentation que recevra l'impulsion sur l'autre zone : car les deux différentielles se détruisant deviendront jointes ensemble égales à zero ; ce qui est nécessaire pour que les deux zones reçoivent conjointement la moindre impulsion possible. Mais ces mêmes différentielles seront encore égales si on les divise par n^2, & par ddx qui désigne la même quantité Mz dans les deux expressions : & commme ce sera précisément la même chose dans tous les autres endroits de la courbe BR, il est évident qu'on peut égaler $\frac{ydx^4 + 3ydy^2 dx^2}{\overline{dx^2 + dy^2}^2}$ à une quantité constante a; ce qui nous donne $ydx^4 + 3ydy^2 dx^2 = adx^4 + 2adx^2 dy^2 + adx^4$ pour l'équation différentielle qui exprime la nature de la courbe.

Pour résoudre cette équation, je prens une nouvelle inconnue z, en supposant $\frac{zdx}{a} = dy$. J'introduis cette valeur de dy dans l'équation ; ce qui la change en $ydx^4 + \frac{3yz^2 dx^3}{a^2} = adx^4 + \frac{2z^2 dx^4}{a} + \frac{z^4 dx^4}{a^3}$ dont je tire $y =$

Fig. 104.

Fig. 104. $\frac{a^4 + 2a^2 z^2 + z^4}{a^3 + 3az}$. Après cela cette valeur de y me donne $dy = \frac{6az^5 dz + 4a^3 z^3 dz - 2a^5 z dz}{\overline{a^3 + 3az^2}^2}$ & je change $\frac{z dx}{a} = dy$ en $\frac{z dx}{a} = \frac{6az^5 dz + 4a^3 z^3 dz - 2a^5 z dz}{\overline{a^3 + 3az^2}^2}$ & en $dx =$ $\frac{6a^2 z^4 dz + 4a^4 z^2 dz - 2a^6 dz}{\overline{a^3 + 3az^2}^2} = \frac{2}{3} dz - \frac{\frac{8}{3} a^4 dz}{\overline{a^2 + 3z^2}^2} = \frac{2}{3} dz - \frac{\frac{4}{3} a^2 dz}{a^2 + 3z^2}$ $- d \frac{\frac{4}{3} a^2 z}{a^2 + 3z^2}$; & en intégrant il vient $x = \frac{2}{3} z - \frac{\frac{4}{3} a^2 z}{a^2 + 3z^2}$ $- \frac{4}{3} \int \frac{\frac{1}{3} a^2 dz}{\frac{1}{3} a^2 + z^2}$. Ainsi le problême est entierement résolu : nous n'avons pas la rélation immédiate de y à x, quoiqu'on puisse la trouver assez aisément ; mais nous avons celle de ces deux quantités à la troisieme z, à laquelle nous n'avons qu'à attribuer autant de différentes valeurs que nous voudrons, & par le moyen des deux équations $y = \frac{a^4 + 2a^2 z^2 + z^4}{a^3 + 3az^2}$ & $x = \frac{2}{3} z - \frac{\frac{4}{3} a^2 z}{a^2 + 3z^2} - \frac{4}{3} \int \frac{\frac{1}{3} a^2 dz}{\frac{1}{3} a^2 + z^2}$, nous aurons autant de valeurs correspondantes de y & de x ; ce qui nous mettra en état de tracer la courbe BER.

Je n'ai que faire d'avertir que le dernier terme $\frac{4}{3} \int \frac{\frac{1}{3} a^2 dz}{\frac{1}{3} a^2 + z^2}$ de la valeur de x dépend de la rectification du cercle : mais j'ai voulu épargner aux Lecteurs la peine du calcul & les mettre en état par la table suivante de former aisément la la courbe dont il s'agit : mon travail aura peut-être son utilité. Il est clair qu'en joignant deux surfaces ABRS, on peut former une proue qui sera à peu près telle que le représente la figure, & qui aura la proprieté d'éprouver de la part de l'eau la moindre résistance possible dans la route directe & dans toutes les autres routes dont l'obliquité ne passera pas 45 degrés. Il n'importe que l'eau choque obliquement les zones horisontales dont les deux côtés de cette proue sont formés : cette obliquité rend plus petites les impulsions sur toutes les zones ; mais elle n'en change point le rapport *. Au reste cette proue a cela de particulier, qu'elle souffre toujours la moindre impulsion possible, sans qu'il importe

* Voyez le commencement de l'art. 2 du chap. 6. de la premiere section.

jusqu'à quel terme elle soit plongée dans le fluide. Ce n'est pas des courbes des arrêtes AIS & BHR dont nous donnons les abscisses & les ordonnées, c'est de celle qui résulte de la section de la surface ABRS coupée verticalement & perpendiculairement à sa longueur ; & le point D est l'origine des abscisses étendues le long de DC. Nous pouvons prendre également DC pour l'axe de la courbe SA ; mais ses ordonnées seront plus longues que celles que marque la Table, dans le même rapport que AC est plus grande que la perpendiculaire CL.

Fig. 104.

T A B L E

Des dimensions de la proue angulaire & rectiligne dans le sens horisontal, laquelle éprouve la moindre résistance de la part de l'eau.

Hauteurs ou profondeurs.	Demies largeurs ou ordonnées.	Hauteurs ou profondeurs.	Demies largeurs ou ordonnées.	Hauteurs ou profondeurs.	Demies largeurs ou ordonnées.	Hauteurs ou profondeurs.	Demies largeurs ou ordonnées.
	899	374	1300	778	2000	1164	2900
14	900	408	1350	826	2100	1200	3000
79	950	440	1400	873	2200	1236	3100
132	1000	471	1450	918	2300	1271	3200
180	1050	502	1500	962	2400	1306	3300
223	1100	561	1600	1004	2500	1341	3400
265	1150	619	1700	1046	2600	1376	3500
303	1200	674	1800	1086	2700	1410	3600
340	1250	728	1900	1125	2800	1444	3700

Le problême recevra une plus grande généralité, si on l'examine dans le cas où les coupes horisontales de la proue, au lieu d'être terminées par deux lignes droites, le sont par des lignes courbes parfaitement paralleles à la premiere BAb. Désignant par x les parties variables de l'axe DC & par y les ordonnées de la courbe de saillie AS, ces ordonnées serviront d'axe aux courbes horisontales qui séparent les zones les unes des autres : & si après

avoir cherché par la méthode expliquée dans le chapitre IV de la premiere section, l'impulsion que souffrent ces lignes, on la nomme Y, on aura $x = \int \frac{ady}{\sqrt{\frac{1}{2}aY - a^2 \pm \sqrt{\frac{2}{4}a^2Y^2 - 2a^3Y}}}$; ce que le lecteur vérifiera aisément.

CHAPITRE II.

De la proue en conoïde qui fend l'eau avec le plus de facilité qu'il est possible.

I.

LORSQU'ON rendra exactement circulaires les coupes de la carene dans les frégates & dans les corvettes, la proue deviendra un conoïde parfait, ou plutôt un demi-conoïde; & on sçait depuis long-tems la forme qu'il faut donner à ce solide pour qu'il fende l'eau avec la plus grande facilité. Si a désigne une grandeur constante & z une variable dont Lz indique les logarithmes pris dans une logarithmique dont a est la soutangente, on aura $\frac{3z^4}{4a^3} + \frac{z^2}{a} - \frac{5}{12}a - Lz$ pour les abscisses ou parties de l'axe du conoïde & $\frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}$ pour ses ordonnées. Nous devons à M. Bernoulli la premiere solution complette de ce problême, de même que d'un si grand nombre d'autres; quoique plusieurs autres Mathématiciens y ayent aussi travaillé avec succès, comme M. le Marquis de l'Hôpital, Messieurs Fatio & Herman. Cette découverte se trouvant d'autant plus utile qu'elle a réellement plus d'étendue qu'on avoit cru lui en donner, puisqu'elle n'est pas limitée au seul cas de la route directe, j'ai tâché de l'accommoder aux besoins de la pratique, en calculant une table des dimensions de la figure qu'elle prescrit. Cette table étant

inferée dans mon Traité de la Mâture, je la transporte ici pour la commodité des Lecteurs, après l'avoir considérablement augmentée.

TABLE

Des dimensions de la proue conoïdale qui fend l'eau avec le plus de facilité.

Abscisses ou parties de l'axe.	Demies largeurs ou ordonnées.	Impulsions.	Abscisses ou parties de l'axe.	Demies largeurs ou ordonnées.	Impulsions.	Abscisses ou parties de l'axe.	Demies largeurs ou ordonnées	Impulsions.
0	308	148993	4518	2545	1949062	41862	12040	[illegible]4543335
6	317	155239	5194	2791	2189549	45385	12765	15615915
20	336	167905	5943	3053	2453469	49118	13[illegible]20	[illegible]6837987
44	364	186165	6769	3333	2743083	53080	14304	[illegible]132351
78	400	208184	7678	3631	[illegible]059421	57280	15119	[illegible]9505003
125	444	236721	8675	3948	3404528	61727	15966	0949435
185	496	268916	9767	4284	378019[illegible]	66423	16845	22478039
260	557	307900	10959	4640	418825[illegible]	71386	17755	2[illegible]089705
354	626	553607	12258	5016	463018[illegible]	76624	18699	[illegible]5790519
468	704	405964	13668	5413	510915[illegible]	82139	19676	7580596
604	792	466875	15198	5832	5626246	87935	20688	[illegible]9463846
766	890	536439	16852	6273	6182762	94086	21736	1444132
956	999	615734	18639	6737	6792289	[illegible]00524	22817	3524[illegible]78
1178	1118	705619	20565	7225	742642	107285	23936	[illegible]5708216
1434	1250	807369	22636	7736	811709[illegible]	114387	2509[illegible]	8001324
1729	1394	922068	24861	8172	886718	121835	26279	399311
2065	1550	1050881	27246	8833	964876	129642	27507	[illegible]2913773
2448	1720	1194679	29800	9421	1049390	137820	28779	[illegible]5546900
2880	1904	1355015	32531	10034	1139539	46380	3008[illegible]	8298823
3366	2102	1533275	35447	10675	1235576	155334	31431	1462561
3911	2316	1[illegible]30807	38555	11343	133775[illegible]	164694	32818	[illegible]4183109

L'usage de cette table est trop facile, pour qu'il soit nécessaire de l'expliquer. On voit assez qu'il faut prendre sur une échelle des parties égales la valeur de chaque abscisse; & que la portant depuis A jusqu'en X, ou jusqu'en C, sur une ligne droite AC, (Fig. 105) en commençant toujours au point A, il n'y a qu'à élever à son extrémité

Fig. 105.

Fig. 105. X ou C une perpendiculaire XV ou CD, égale à l'ordonnée correſpondante marquée dans la table, pour avoir un point V ou D de la courbe BVD. On pourra trouver de la même maniere autant de différens points qu'on voudra : & la courbe étant tracée, il n'y aura qu'à la faire tourner autour de ſon axe AC, pour former le conoïde qui éprouve de la part des fluides la moindre impulſion poſſible. Ce conoïde ne ſera pas fermé par ſa pointe, parce que la premiere ordonnée AB, au lieu d'être nulle, eſt ici de 308 parties : mais on peut couvrir cette ouverture par un petit cone formé par les tangentes à la courbe. La proue étant parfaitement conoïdale, tous les gabaris de la partie anterieure de la carene, ſeront des demi-cercles ; ce qui ne donnera que plus de facilité à les former. Les Conſtructeurs ont toujours eu quelque répugnance à ſe ſervir de cette figure dans leurs gabaris. Voyant que pendant le roulis, les navires trop ronds, font leurs balancemens, ſans choquer l'eau d'un côté & d'autre, ils ont cru que ces balancemens en devoient être beaucoup plus vifs : mais quelque figure qu'ait la carene, il eſt certain qu'elle ne déplace jamais beaucoup d'eau par ſes oſcillations, & qu'outre cela elle ne la frappe qu'avec une obliquité qui doit rendre le choc comme inſenſible. De plus, nous avons montré que la promptitude du roulis vient de cauſes très-différentes.

Nous avons ajouté dans la table les impulſions que ſouffre le demi conoïde, ſelon qu'on le rend plus ou moins long. Ces impulſions ont été fournies par la formule $\frac{27}{qr} \times \overline{\frac{3z^4}{4a^2} + \frac{5}{2}z^2 + \frac{151}{108}a^2 + \frac{a^4}{2z^2} + aLz}$, dont on peut voir l'origine dans le Traité de la Mâture *. Les lettres q & r marquent le rapport du quart de la circonference d'un cercle à ſon rayon : mais nous avons pris l'unité pour ſinus total ; & nous avons joint outre cela l'impulſion que doit recevoir le petit plan circulaire de l'extrémité, dont le rayon eſt égal à $\frac{16}{3\sqrt{3}}a$. Le ſinus total étant déſigné ici par l'unité,

* Page 53 & ſuiv.

l'impulſion que recevroit la baſe du conoïde, ſi elle étoit frappée perpendiculairement par le fluide, ſeroit repréſentée par ſon étendue même. Ainſi il n'y a qu'à chercher l'étendue de cette baſe, par la connoiſſance qu'on a de l'ordonnée qui lui ſert de rayon, & il ſuffira de lui comparer l'impulſion que ſouffre le conoïde, pour ſçavoir combien la ſaillie ou la convexité de la figure fait diminuer le choc. La partie, par exemple, qui a 1434 pour axe & 1250 pour ordonnée, reçoit une impulſion qui eſt exprimée par 807369, pendant que l'étendue de la baſe ou du demi-cercle qui a 1250 pour rayon eſt à peu près de 2455357; ce qui montre que la convexité de cette partie du conoïde, rend l'impulſion à peu près trois fois moindre. On peut remarquer en paſſant que c'eſt donc cette même portion qui (conformément à un théoreme établi dans la premiere ſection de ce troiſieme Livre *,) a la proprieté ſinguliere de recevoir toujours le même choc dans le ſens de ſon axe, quelle que ſoit l'obliquité de la direction du fluide qui la frappe.

* Art. VI. du Chap. VII.

On peut juger auſſi avec facilité de l'impulſion que ſouffrent les parties qui ne commencent pas à l'extrémité de l'axe. L'impulſion que reçoit, par exemple, la partie qui eſt compriſe entre les ordonnées 400 & 3053 eſt la différence 2245285 des impulſions 208184 & 2453469; & cette impulſion partiale répond à la différence des baſes qui ont 400 & 3053 pour rayons, difference qui eſt de 14395557. D'où il ſuit que la portion du conoïde dont il s'agit fait, par la diſpoſition plus oblique de ſa ſurface, diminuer l'impulſion relative directe dans le rapport de 14395557 à 2245285, ou qu'elle la fait diminuer preſque $6\frac{1}{3}$ fois.

Nous ne deſcendons dans ce détail qu'afin de lever les difficultés qui pourroient ſe préſenter, lorſqu'on voudra découvrir les impulſions que ſouffrent divers conoïdes irréguliers dont nous parlerons dans la ſuite. Quelquefois on ne formera leur ſaillie que par une portion VD (fig. 105) de la courbe génératrice du conoïde régulier

Fig. 105. *de moindre résistance* : or il n'y aura qu'à chercher de la maniere que nous venons de l'expliquer, dans quel rapport la portion de la ligne qui sera actuellement employée, fait diminuer l'impulsion dans le conoïde régulier, elle produira le même effet dans les autres. Nous nous proposerons vers la fin du second article du chapitre IV. de garantir du choc une base formée de deux quarts de cercle séparés par un rectangle mis entre deux : cette base sera d'environ 530 pieds quarrés ; & il ne s'en faudra que très-peu que nous ne formions le conoïde irrégulier dont nous la couvrirons, par cette portion de la ligne courbe qui fait diminuer l'impulsion $6\frac{2}{5}$ fois. Ainsi les 530 pieds de la base se réduiront à environ $82\frac{1}{2}$: c'est-à-dire que l'impression sera la même que si l'eau frappoit perpendiculairement une surface plane de $82\frac{1}{2}$ pieds quarrés d'étendue.

II.

La ligne courbe qui forme le conoïde de M. Bernoulli a deux branches jointes par un point de rebroussement ; l'une présente sa convexité en dehors & l'autre sa concavité. On s'est contenté d'inserer dans la table précédente les dimensions de la premiere ; parce que l'autre formeroit un conoïde trop obtus. Il est plusieurs autres conoïdes qui jouissent sensiblement de la proprieté d'éprouver la moindre résistance, s'ils n'en jouissent pas absolument. On trouve dans le livre des *Principes Mathématiques de la Philosophie naturelle* la construction du problême suivant ; mais sans démonstration ; un demi-cercle BED (fig. 106.) étant proposé & la saillie ou hauteur AC que doit avoir le tronc de cone GHIEBD qui doit couvrir cette base étant donnée, trouver entre tous les troncs possibles qui ont la même hauteur & la même base, celui qui doit recevoir tant par sa surface courbe que par le plan GIH le moins de choc qu'il se peut, de la part d'un fluide qui viendroit le rencontrer parallelement à l'axe AC, ou perpendiculairement à la base BED. M. Newton a découvert que pour détermi-

ner

Fig. 106.

ner le ſommet F où les côtés de ce cone iroient ſe rencontrer, ſi le cone n'étoit pas tronqué, il n'y a qu'à diviſer AC par la moitié par le point O, & faire OF égale à OB ou OD. C'eſt ce que pluſieurs Géometres ont démontré depuis; & il faut remarquer que ce cone tronqué formeroit déja une proue qui fendroit l'eau avec beaucoup de facilité. Car nous avons vu dans le Chapitre V de la premiere ſection de ce troiſieme livre, qu'une proue conique peut faire diminuer conſidérablement la réſiſtance que fait l'eau au mouvement du ſillage; & le cone tronqué dont il s'agit ici eſt encore préférable. Mais cela ſuppoſé, il eſt évident qu'on peut chercher de la même maniere le tronc de cone *de moindre réſiſtance* dont il faudroit couvrir le demi cercle *b e d*, qui eſt à une certaine diſtance du premier BED. Il faudroit diviſer également A*c* par la moitié par le point *o*; & faiſant *of* égale à *ob* ou à *od*, on auroit le point de rencontre *f* des côtés, qui doivent former le nouveau tronc g *h i e b d.* Rien n'empêcheroit de repeter ſucceſſivement la même choſe; & le ſolide éprouveroit toujours une réſiſtance qui deviendroit moindre. Mais pour n'avoir point à y revenir, il n'y a qu'à repeter tout d'un coup cette opération une infinité de fois; ce qui ſera très-facile, auſſi-tôt qu'on employera la méthode inverſe des tangentes. Il ſuffit pour cela de conſiderer que les côtés du cone, dont la conſtruction de M. Newton nous indique la poſition, ne ſont autre choſe que les tangentes continuelles du conoïde que nous voulons découvrir.

Si on nomme x les parties variables AC ou A*c* de l'axe, & y les ordonnées correſpondantes CD ou *cd*, on aura $\sqrt{\frac{1}{4}x^2 + y^2}$ pour les diſtances OD ou *od*; & par conſéquent les ſoutangentes CF ou *cf* de la courbe génératrice du conoïde, ſeront $\frac{1}{2}x + \sqrt{\frac{1}{4}x^2 + y^2}$. Mais comme ces mêmes ſoutangentes ſont exprimées par $\frac{ydx}{dy}$, nous aurons $\frac{1}{2}x + \sqrt{\frac{1}{4}x^2 + y^2} = \frac{ydx}{dy}$ qui devient $dy\sqrt{\frac{1}{4}x^2 + y^2} = ydx - \frac{1}{2}xdy$

& $ydy^2 = ydx^2 - xdxdy$; équation différentielle qui caractérise la courbe qu'il s'agit de découvrir. Prenant ensuite une nouvelle variable z & une constante a, en les supposant telles que $dx = \frac{zdy}{a}$, si on introduit cette valeur de dx dans l'équation, & qu'on fasse les autres changemens nécessaires, on trouvera $x = \frac{yz}{a} - \frac{ay}{z^a}$, & enfin $\frac{a^2dy}{y} = zdz + \frac{a^2dz}{z}$, dont on tirera, en intégrant, $Ly = \frac{z^2}{2a} - \frac{1}{2}a + Lz$. Ainsi le Problême est entierement résolu; on ne sçait pas la relation immédiate qu'ont entr'elles les abscisses & les ordonnées de la courbe; mais on sçait la relation qu'elles ont par rapport à une troisieme quantité, & cela suffit. Pour chaque grandeur qu'on attribuera à z, on trouvera aisément par l'équation $Ly = \frac{z^2}{2a} - \frac{1}{2}a + Lz$, la grandeur que doit avoir y; & il ne restera plus qu'à introduire ces deux valeurs de z & de y dans la formule $x = \frac{yz}{a} - \frac{ay}{z}$, pour avoir l'abscisse x correspondante de l'ordonnée y déja trouvée.

C'est de cette sorte que j'ai calculé la Table qu'on voit ci à côté, qui indique un assez grand nombre de points de la courbe pour qu'on puisse la tracer exactement. Cette table comparée avec l'autre que nous avons rapportée ci-dessus; & encore mieux les équations rapprochées l'une de l'autre, ne laissent aucun lieu de douter que les deux conoïdes ne soient différens, & il est certain aussi qu'ils ont, par rapport à la moindre résistance, des propriétés très-distinctes.

TABLE

Des dimensions d'un nouveau conoide qui doit éprouver peu de resistance en traversant les milieux.

Abscisses ou parties de l'axe de la prou.	Ordonnées ou demies largeurs de la proue.
0	100
23	122
55	150
97	183
155	226
23[illegible]	[illegible]80
34[illegible]	49
67[illegible]	552
962	701
134[illegible]	896
187[illegible]	[illegible]155
2615	1501
366[illegible]	[illegible]969
5143	2593
8[illegible]47	451
10261	[illegible]632
14601	[illegible]269
20909	[illegible]559
30122	11788
4[illegible]61[illegible]	16379
6477[illegible]	22961
9[illegible]78[illegible]	[illegible]2478
13[illegible]926	46[illegible]55
207366	66766
311931	97045

Celui que nous venons de trouver actuellement, qui n'eſt autre choſe que le cone tronqué de moindre réſiſtance, perfectionné une infinité de fois, ne fait que s'approcher continuellement, & de plus en plus, de la figure la plus avantageuſe : de ſorte que la perfection eſt, pour ainſi dire, une aſymptote à ſon égard. Mais la proprieté dont il jouit s'étend au moins à toute l'impulſion à laquelle il eſt expoſé, y compris celle que reçoit le petit demi-cercle, ou le petit plan qui ſe trouve toujours au ſommet. Dans l'ancien conoïde, au contraire, c'eſt ſeulement ou toute la ſurface courbe ou toutes les zones de cette ſurface compriſes entre deux cercles paralleles, qui ont la proprieté de recevoir la moindre impulſion ; & le petit cercle qui reſte à l'extrémité en eſt toujours exclus.

III.

Les deux conoïdes précédens ſont ſujets à un inconvenient conſidérable, lorſque le navire s'incline dans les routes obliques : l'endroit qu'on regardoit comme le plus large de la carene entre dans l'eau & s'y plonge de toute la quantité de l'inclinaiſon. Si pour éviter d'un autre côté cet accident qui peut avoir des ſuites fâcheuſes, on éleve au-deſſus de la mer l'endroit le plus large du navire, le demi conoïde qui ſert de proue perdra la proprieté qu'il avoit d'éprouver la moindre réſiſtance ; parce que ce ſeront des parties toutes différentes des zones de ſa ſurface, qui ſeront expoſées au choc. C'eſt ce qui nous a invité à conſtruire encore la table ſuivante qui marque les dimenſions qu'il faut donner au conoïde, lorſqu'il ne plonge qu'en partie, & nous l'avons inſtituée pour deux cas différens ; en ſuppoſant dans l'un que la partie de la proue ou de la carene qui reſtoit au-deſſus de l'eau, avoit deux fois plus d'épaiſſeur ou de hauteur que dans l'autre. Nous avons ſuivi pour conſtruire cette table les veſtiges de la ſolution générale qu'on verra dans le chapitre ſuivant. Ces ſortes de calculs ſont ſi rebutans qu'il eſt naturel de s'y

refuſer le plus qu'on peut. Le conoïde de moindre réſiſtance qui n'eſt ſubmergé qu'en partie, eſt très-different de l'autre vers ſon ſommet; mais ils deviennent preſque conformes, à une certaine diſtance, &exactement les mêmes, lorſqu'on les prolonge infiniment; car ils ſe confondent l'un & l'autre avec celui qui eſt formé par la derniere parabole du quatrieme degré, c'eſt à-dire par celles dont les cubes des abſciſſes ſont comme les ordonnées élevées à la quatrieme puiſſance. Lorſqu'on aura donc, dans le cas préſent, tracé avec ſoin, ſur les dimenſions que nous donnons, le commencement de la courbure qui eſt plus marquée, on pourra enſuite ſans erreur ſenſible emprunter la figure de l'ancien conoïde.

TABLE

Des dimenſions de deux proues conoïdales qui n'éprouvent la moindre réſiſtance de la part de l'eau, que lorſqu'elles ne ſont pas entierement ſubmergées.

Lorſque l'axe de la proue eſt élevé de 1000 parties au-deſſus de la ſurface de l'eau.				Lorſque l'axe de la proue eſt élevé de 2000 parties au-deſſus de la ſurface de la mer.			
Abſciſſes ou parties de l'axe.	Ordonnées ou demies largeurs.	Abſciſſes ou parties de l'axe.	Ordonnées ou demies largeurs.	Abſciſſes ou parties de l'axe.	Ordonnées ou demies largeurs.	Abſciſſes ou parties de l'axe.	Ordonnées ou demies largeurs.
0	1045	1372	1800	0	2023	3223	3400
3	1050	1854	2000	5	2030	3825	3600
21	1070	2368	2200	14	2040	4449	3800
83	1125	2910	2400	36	2060	5093	4000
150	1175	3478	2600	89	2100	5756	4200
264	1250	4069	2800	248	2200	6438	4400
347	1300	4682	3000	433	2300	7156	4600
435	1350	5969	3400	636	2400	7851	4800
527	1400	7329	3800	1082	2600	8582	5000
721	1500	8753	4200	1570	2800	9327	5200
927	1600	10239	4600	2093	3000	10859	5600
1145	1700	11781	5000	2645	3200	12446	6000

CHAPITRE III.

Une base étant donnée, trouver la figure du solide dont il faut la couvrir pour que l'impulsion qu'elle souffre en traversant un fluide, soit la moindre qu'il est possible.

I.

TOUS les conoïdes dont nous venons de parler ne satisfont qu'à un cas très-limité du problême général, dans lequel il s'agit de garantir du choc, non pas un plan circulaire, mais une base quelconque, en la couvrant d'une espece de conoïde qui éprouve de la part du fluide la moindre impulsion possible. Pour ne pas renvoyer le Lecteur au volume de 1733 des Mémoires de l'Académie des Sciences où nous avons traité ce problême, nous en donnerons ici une autre solution qui aura d'ailleurs plus de rapport avec les choses qui nous restent à dire. Supposons que ABA (Fig. 107) est la base proposée, ou ce qui revient au même, que c'est la coupe de la carene faite perpendiculairement à sa longueur dans l'endroit le plus gros. Au lieu de former les autres coupes par des figures semblables, ou à peu près semblables, nous leur donnerons les figures DEBED, FGBGF, &c. ou nous les terminerons de chaque côté par des droites verticales DE, DE & FG, FG &c, & en bas par des portions EBE, GBG de la courbe ABA. Nous pourrions substituer à la place des verticales DE, FG, des lignes inclinées, ou même des courbes, en observant seulement qu'elles fussent exactement paralleles. Cette condition est ici essentielle, pour la simplicité de la solution, parce que l'impulsion du fluide sur toutes les parties de la même zone, se fait ensuite exactement avec la même incidence; comme on le voit avec facilité en jettant les yeux sur la figure 108 qui représente

Fig. 107.

Fig. 107. & 108.

le ſolide que nous voulons déterminer. Toute la partie ABI de la ſurface du ſolide eſt cilindrique ou comme cilindrique, & la ſurface AHI, quoique courbe de A vers HI, eſt formée de lignes droites poſées verticalement. Il eſt clair auſſi que ſi on coupe ce ſolide perpendiculairement à ſon axe CH par une infinité de plans, ces coupes fourniront les quadrilateres mixtilignes DEBED, FGBGF, &c. de la figure 107. Et il n'eſt pas moins évident que le fluide ne frappant point la partie inférieure de chacune des zones dans leſquelles ſera partagée toute la ſurface du ſolide, il ne rencontrera que les ſeules parties des flancs de chaque zone comme OPSR, & qu'il en rencontrera chaque partie avec la même obliquité.

Je nomme x les abſciſſes ou parties HM, HL, &c. de l'axe HC du ſolide & y les ordonnées correſpondantes MV, LR, &c. Ces ordonnées ſont égales à CF & à CD de la baſe ABA (Fig. 107); & puiſque cette baſe eſt donnée, on ſçait la relation des diſtances CF ou CD aux verticales FG & DE. Ces dernieres lignes ſont égales à une fonction des premieres; de ſorte que celles-ci étant déſignées par y, nous pourrions déſigner les autres par Y, & nous réuſſirions toujours à rapporter le problême à la quadrature des courbes; mais nous nous contenterons d'employer d'abord $\overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}}$, expreſſion dans laquelle il n'y a que y de variable. Je reviens au ſolide même, & je conſidere que le fluide venant le rencontrer parallelement à ſon axe HC, il rencontre chaque zone ORSP avec une incidence égale à l'angle ORN formé par le petit élément OR de la courbe AH de ſaillie, & par RN qui eſt parallele à l'axe HC. Si nous prenons l'unité pour ſinus total, nous trouverons le ſinus de l'angle d'incidence par cette analogie : OR $(\sqrt{\overline{NR}^2 + \overline{NO}^2}) = \sqrt{dx^2 + dy^2}$ eſt à NO$=dy$, comme l'unité eſt à $\frac{dy}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}$, & nous aurons $\frac{dy^2}{dx^2 + dy^2}$ pour le quarré de ce ſinus. Or il faut, comme

nous l'avons déja dit tant de fois, multiplier ce quarré, non pas par toute la surface de la zone OS, mais par son étendue projettée sur un plan perpendiculaire à l'axe, puisque nous ne voulons avoir que l'impulsion relative dans le sens de l'axe : c'est-à-dire, que l'étendue qui doit être multipliée, n'a sur la hauteur $OP = DE = \overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}}$ que $ON = dy$ de largeur, & elle est donc exprimée par $OP \times ON$ ou par $\overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}} \times dy$; & l'impulsion relative sur la zone OS, est $\frac{dy^3 \times \overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}}}{dx^2 + dy^2}$.

Fig 107 & 108.

Il faut remarquer après cela, que nous confererons à toute la surface du solide la proprieté de recevoir la moindre impulsion directe, si nous conferons cette proprieté aux zones sensibles dont on peut la concevoir formée : & que les zones sensibles jouiront de cette proprieté, si nous réussissons à la donner à toutes les zones infiniment étroites comme OS & RX, considerées toujours deux à deux & consécutivement. Laissant pour cela les dy constantes, je fais seulement varier les dx d'une quantité infiniment petite du second ordre ddx. L'impulsion $\frac{dy^3 \times \overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}}}{dx^2 + dy^2}$ que recevoit une des zones, souffrira le petit changement $\frac{2dy^3\, dxddx \times \overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}}}{\overline{dx^2 + dy^2}^2}$; mais en même tems l'autre zone recevra un petit changement contraire $\frac{-2dy^3\, dxddx \times \overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}}}{\overline{dx^2 - dy^2}^2}$, parce que $NR = dx$ ne peut pas dans une zone augmenter de la petite quantité $Rr = ddx$, sans qu'il se fasse sur dx dans l'autre zone, une diminution exactement égale ddx. C'est d'ailleurs ce que la figure offre aux yeux ; car si la zone OPSR prenant la situation OPsr reçoit moins d'impulsion, parce qu'elle est choquée avec une plus grande obliquité, l'autre zone VXSR prendre en même tems la situation NXsr, & sera plus ex-

Fig. 100. posée au choc. Enfin pour que les deux petites zones jointes ensemble reçoivent le moindre choc possible; il faut conformément aux regles *de maximis & de minimis* que la différentielle de leur impulsion totale, soit nulle, & il faut donc que la différentielle particuliere & positive $\frac{2dy^3\,dxddx \times \overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}}}{\overline{dx^2 + dy^2}^2}$ de l'impulsion que souffre une des zones, soit exactement égale à la différentielle négative de l'impulsion que souffre en même tems l'autre zone. Ainsi ces mêmes différentielles, considérées absolument, doivent être constantes, & elles seront donc encore égales à une grandeur déterminée a, lorsqu'on les aura également divisées par $2ddx$ qui est commune aux deux zones. C'est pourquoi nous avons $\frac{dy^3\,dx \times \overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}}}{\overline{dx^2 + dy^2}^2} = a$, ou $dy^3\,dx \times \overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}} = adx^4 + 2adx^2\,dy^2 + ady^4$ pour l'équation en premieres différences de la courbe AOH de la proue.

Cette équation se résoudra comme à l'ordinaire, en supposant une nouvelle variable z qui soit telle que $dx = \frac{zdy}{a}$. L'introduction de cette valeur de dx dans l'équation, la changera en $\overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}} \times \frac{z}{a} = \frac{z^4}{a^3} + \frac{2z^2}{a} + a$, dont on tire $y = \overline{\frac{1}{c}\,b^m - \frac{1}{c} \times \overline{\frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}}^n}^{\frac{1}{m}}$; & cherchant la valeur de dy en différentiant pour l'introduire dans $dx = \frac{zdy}{a}$, il vient $dx = -\frac{n}{mc} \times \overline{\frac{1}{c}\,b^m - \frac{1}{c} \times \overline{\frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}}^n}^{\frac{1}{m}-1} \times \overline{\frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}}^{n-1} \times \frac{3z^3\,dz}{a^3} + \frac{2zdz}{a} - \frac{adz}{z}$. De sorte qu'on connoît maintenant la relation de x & de y à une troisieme quantité z, à laquelle il ne s'agit plus que d'attribuer autant de différentes valeurs, qu'on voudra obtenir d'ordonnées

nées y & d'abſciſſes x, ou qu'on voudra déterminer de différens points de la courbe AOH. Cette courbe ne parviendra pas ordinairement juſqu'au point A ; mais on fermera l'ouverture qu'elle laiſſe, en prolongeant la ſurface IHOP.

Fig. 107 & 108.

Cette ſolution, qui peut ſervir de modele à toutes les autres, eſt applicable par elle-même, comme il eſt évident, à une infinité de différentes baſes. Elle donnera à la proue une figure qui ne ſera toujours ſujette qu'à peu de dérive, & qui ſera outre cela exempte des plus grands mouvemens du tangage. En mettant des nombres poſitifs à la place des expoſans m & n, on fera convenir cette ſolution aux baſes terminées par les cercles de tous les genres, & ſi on fait en particulier ces expoſans $=2$, afin de réduire la valeur générale $\overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}}$ des verticales ou ordonnées FG, DE de la baſe de la figure 107, à $\sqrt{b^2 - cy^2}$ qui appartient à l'ellipſe ordinaire, on apprendra la courbure qu'il faut donner au ſolide qui doit couvrir cette figure. On aura alors

$$y = \sqrt{\frac{1}{c}b^2 - \frac{1}{c} \times \overline{\frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}}^2} \;\&\; dx = \frac{-\frac{1}{c} \times \overline{\frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}} \times \overline{\frac{3z^3dz}{a^3} + \frac{2zdz}{a} - \frac{adz}{z}}}{\sqrt{\frac{1}{c}b^2 - \frac{1}{c} \times \overline{\frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}}^2}}.$$

Il ſuffit d'affecter le coëfficient c de ſignes contraires lorſque les baſes ſont hyperboliques ; & ſi on ſe contente de faire $n = 1$, ſans changer le ſigne de c, la ſolution conviendra aux baſes paraboliques de tous les genres, dont B ſera le ſommet & BC l'axe. Lorſqu'on voudra en particulier que la baſe BAB ſoit une parabole ordinaire, il faudra ſuppoſer $m = 2$ en faiſant toujours $n = 1$, afin de réduire la valeur $\overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}}$ des verticales FG à cette autre $b^2 - cy^2$, dans laquelle b^2 déſigne CB, & cy^2 la quantité dont chaque verticale eſt plus courte. On aura alors $y =$

Fig. 107 & 108.

$$\sqrt{\tfrac{1}{c}b^2 - \tfrac{z^3}{ca^2} - \tfrac{2z}{c} - \tfrac{a^2}{cz}} \ \& \ dx = \frac{\frac{3z^3dz}{2a^2} + zdz - \frac{a^2dz}{2z}}{\sqrt{c}\sqrt{b^2 - \frac{z}{a^2} - 2z - \frac{a^2}{z}}}.$$

Les cas les plus ſimples ne ſçauroient manquer de ſe trouver renfermés dans cette ſolution générale. Suppoſé que les longueurs OP, RS des zones diminuent en progreſſion arithmetique, ou ſuivent la même loi que dans le conoïde circulaire où les circonférences des zones ſont comme leur rayon, il n'y aura qu'à rendre les verticales FG, DE, &c. proportionnelles à leur diſtance CF, CD ($=y$) au centre C, & il ſuffira pour cela de changer le ſigne de c, & de ſuppoſer $b=0$, & les expoſans m & n égaux à l'unité, afin de convertir la valeur générale $\overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}}$ des verticales en cy. Il eſt clair qu'on doit trouver enſuite la même courbure de ſaillie que pour le conoïde circulaire; car il n'importe que les zones ſoient étendues en lignes droites ou qu'elles ſoient pliées en arc de cercle, auſſi-tôt qu'elles ſont de même longueur, & que toutes leurs parties ſont également expoſées au choc. Auſſi la valeur $\overline{\tfrac{1}{c}\times b^m - \tfrac{1}{c}\times\overline{\tfrac{z^3}{a^2} + 2z + \tfrac{a^2}{z}}^{n}}^{\frac{1}{m}}$ de y ſe réduit-elle à $\tfrac{1}{c}\times\overline{\tfrac{z^3}{a^2} + 2z + \tfrac{a^2}{z}}$ & celle $-\tfrac{n}{mc}\times\overline{\tfrac{1}{c}b^m - \tfrac{1}{c}\times\overline{\tfrac{z^3}{a^2} + 2z + \tfrac{a^2}{z}}^{n}}^{\frac{1}{m}-1}$ $\times\overline{\tfrac{z^3}{a^2} + 2z + \tfrac{a^2}{z}}^{n-1}\times\overline{\tfrac{3z^3dz}{a^3} + \tfrac{2zdz}{a} - \tfrac{adz}{z}}$ de dx à $\tfrac{1}{c}$ $\times\tfrac{3z^3dz}{a^3} + \tfrac{2zdz}{a} - \tfrac{adz}{z}$; ce qui s'accorde parfaitement avec la ſolution de M. Bernoulli. Enfin ſi les verticales FG, DE, au lieu de croître en progreſſion arithmétique, ſont toutes parfaitement égales à CB (ce qui doit arriver lorſque la baſe ABA eſt un rectangle), il faut ſuppoſer c nulle, afin de réduire l'expreſſion $\overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}}$ des verticales à une grandeur conſtante $b^{\frac{m}{n}}$; & cette ſuppoſition étant admiſe

Fig. 107 & 108.

dans l'équation $\overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}} \times \frac{z}{a} = \frac{z^4}{a^3} + \frac{2z^2}{a} + a$ qui est la premiere transformée de l'équation différentielle du problême, il viendra $b^{\frac{m}{n}} \times \frac{z}{a} = \frac{z^4}{a^3} + \frac{2z^2}{a} + a$, qui nous apprend que z, au lieu d'être variable, a une valeur déterminée, & que par conséquent le rapport de dx à dy, renfermé dans $dx = \frac{zdy}{a}$, est constant. Il suit de là que la ligne de saillie AOH est droite, & que la proue est alors terminée par deux plans verticaux qui viennent se rencontrer ou se couper dans la verticale HI; ce qui seroit une confirmation de ce que nous avons établi dans le premier article du chapitre I. si la chose en avoit besoin.

II.

Nous avons dit qu'on pourroit supposer que les longueurs des zones de la surface du solide exposé à l'impulsion du fluide sont comme une fonction quelconque des ordonnées de ce même corps, & que le problême se résoudroit également. C'est ce que nous allons faire voir maintenant, en montrant en peu de mots que l'ancienne solution, qui étoit particuliere à la base exactement circulaire, s'étend fort aisément au cas le plus général, dans lequel la base proposée qu'il s'agit de garantir du choc peut avoir toute autre figure.

Fig. 109.

Que ABA (fig. 109.) soit la base proposée, & concevons au dedans une infinité de lignes courbes GHG, FEF parfaitement paralleles au circuit extérieur ABA. Toutes ces lignes représenteront les contours des zones à peu près circulaires dont nous voulons maintenant que soit formée la surface du conoïde. Ainsi si les coupes du conoïde faites parallelement à sa base ABA ou perpendiculairement à son axe, ne sont pas encore ici semblables entr'elles & à la base, elle auront au moins toujours beaucoup plus de conformité. L'unes de ces coupes, faite à peu de distance

Fig. 109. de la base, sera égale à FEF, pendant qu'une autre moins éloignée du sommet, sera égale à GHG. Il est d'ailleurs évident que le parallelisme exact de toutes les lignes courbes FEF, *fef*, sera cause que chaque zone aura exactement la même largeur dans tout son contour, & qu'elle recevra le choc du fluide avec la même incidence dans toutes ses parties. Ainsi tous les raisonnemens que nous avons faits sur les zones étendues en ligne droite, sont applicables à nos zones exactement courbées; & c'est précisément le même cas. Nous nommerons toujours x les parties de l'axe du conoïde à commencer à son sommet, & y ses ordonnées que nous prendrons dans le plan vertical qui le coupe selon son axe par la moitié & perpendiculairement à la base ABA. C'est-à-dire, que y ne désignera pas les demies largeurs horisontales du conoïde, qui peuvent être plus ou moins grandes, selon que la base ABA & toutes les autres coupes paralleles différent plus ou moins du cercle; mais que y désignera les profondeurs du conoïde, ou les seules ordonnées verticales dont CB est la plus grande & la derniere; en un mot, y marquera toutes les lignes CH, ou C*e*, CE, pendant que dy indiquera les parties comme E*e*. Si après cela nous nommons Y les circuits, ou ce qui revient au même, les demi-circuits HG ou EF des lignes courbes qui servent de longueur aux zones, & que nous fassions les mêmes opérations en employant Y, que nous avons faites dans l'art. précédent en employant $\overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}}$; au lieu de parvenir à l'égalité $\frac{dy^3\, dx \times \overline{b^m - cy^m}^{\frac{1}{n}}}{\overline{dx^2 + dy^2}^2} = a$, nous parviendrons à $\frac{dy^3\, dx \times Y}{\overline{dx^2 + dy^2}^2} = a$, ou à $Y\, dy^3\, dx = adx^4 + 2adx^2\, dy^2 + ady^4$, qui est donc l'équation constitutive du problême en premieres différences, & nous la changerons en $Y = \frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}$, lorsque nous introduirons $\frac{zdy}{a}$ à la place de dx.

Mais cela ſuppoſé, le problême ſe réduit ſans peine à la ſimple quadrature des courbes ; car il ne s'agit pour cela que de donner des valeurs géométriques aux deux équations $Y = \frac{z^3}{a^2} + 2z + \frac{a^2}{z}$ & $dx = \frac{zdy}{a}$, ou de les réaliſer, pour ainſi dire. Après avoir prolongé BC vers M, je prends le point C pour l'origine des quantités z que j'étends le long de CM ; & faiſant les perpendiculaires SR, VT, &c. égales aux diverſes valeurs de Y, je trace la courbe NRQ en l'aſſujettiſſant à l'équation $Y = \frac{z^3}{a} + 2z + \frac{a^2}{z}$. Cette courbe eſt facile à décrire ; ſes ordonnées, comme VT, ſont toujours formées de trois parties, dont l'une ($\frac{z^3}{a^2}$) eſt proportionnelle au cube de l'abſciſſe correſpondante CV ; l'autre partie eſt proportionnelle à l'abſciſſe même, & en eſt le double ($2z$) ; & la troiſieme $\frac{a^2}{z}$ ſuit la raiſon inverſe des mêmes abſciſſes. En un mot, on trouvera les ordonnées VT de la courbe QRN, en ajoutant enſemble les ordonnées de trois autres lignes ; d'une premiere parabole cubique comparée à ſa tangente à ſon ſommet ; d'une ligne droite comparée à une autre droite ; & d'une hyperbole comparée à ſon aſymptote. La courbe QRN a la ligne droite CO pour aſymptote ; l'autre branche RN a pour aſymptote une parabole cubique ; & il eſt facile de voir que la plus petite ordonnée SR eſt égale à $\frac{16}{3\sqrt{3}} \times a$ qui répond à l'abſciſſe $CS = a\sqrt{\frac{1}{3}}$; de ſorte que SR eſt à CS comme 16 eſt à 3.

Fig. 109.

La courbe QRN étant tracée une fois, ſert pour toutes les differentes baſes ABA qu'on peut propoſer, parce qu'elle ne dépend point de la nature de cette baſe ; mais nous avons beſoin d'un autre courbe CLI qui en dépend. Cette ſeconde a ſes ordonnées HL, EK, &c. égales à la longueur des zones, ou au circuit des courbes HG, EF correſpondantes, que nous avons conſidérées au-dedans de la baſe, & rendues exactement paralleles à ſon circuit. Lorſ-

Fig. 100. que la base est un cercle, toutes les courbes qui sont concentriques, & qui sont aussi des cercles, sont en progression arithmétique, & la courbe CLI devient droite : au lieu qu'elle est dans les autres cas presque toujours méchanique ou transcendante. Un autre moyen de rendre cette courbe géométrique, c'est celui que nous avons déja employé, de rendre droites les zones dans leur longueur : alors toutes ces longueurs ont entr'elles une relation qu'on peut exprimer en termes finis, puisqu'elles le sont par les droites mêmes tirées au dedans de la base ABA que nous supposons géométrique. Mais enfin on trouvera toujours au moins par les séries, ou par les autres méthodes d'aproximation, la longueur des courbes HG & EF, & par conséquent des droites HL & EF qui leur sont égales : & si de leur extrémités L & K on conduit parallelement à BM les lignes LR & KT jusqu'à la rencontre de la courbe RN, & que des points R & T, on tire les ordonnées RS, TV, &c. on obtiendra la relation continuelle des quantités y, Y & z. Car pendant que CE représentera y, la ligne EK nous donnera la valeur de Y, & CV celle de z, & ces trois quantités seront les correspondantes les unes des autres : pour chaque valeur CE de y, nous trouverons toujours, en passant de la courbe CLI à la courbe QRN, la valeur CV de z qui lui répond.

Ainsi il ne reste plus, pour obtenir la valeur des parties élémentaires dx de l'axe du conoïde, que nous offre l'autre équation $dx = \frac{z\,dy}{a}$ qu'à transporter les abscisses CV (z) en EZ sur le prolongement de KE : on fera passer par tous les points Z une nouvelle courbe YZX dont on connoîtra toutes les ordonnées, qui sera géométrique toutes les fois que la courbe CLI le sera ; & ses trapezes élémentaires ZE ez compris entre deux ordonnées infiniment voisines & qui seront les produits de ZE $= z$ par E$e = dy$, nous donneront des quantités continuellement proportionnelles aux petites parties dx de l'axe ou de la saillie du conoïde que nous voulons déterminer. Nous pouvons nous

dispenser d'avertir que la courbe YX ne sera quelquefois que la courbe RN simplement transposée ; puisque cela n'arrivera jamais que lorsque CI sera une ligne droite, ou que le conoïde sera exactement circulaire. Mais de ce que les petits trapezes EZze sont proportionnels aux dx ou égaux aux dx multipliées par a, il résulte que nous n'avons qu'à chercher par les méthodes que nous enseigne la géométrie les aires des parties sensibles comme BXZE qui commencent à la derniere ordonnée BX, & que les divisant par a ou par son égale $\frac{3\sqrt{3}}{16} \times SR$, nous aurons les parties sensibles de l'axe du conoïde, à commencer de sa base : de sorte que nous sçaurons à quelle distance de cette même base il faudra placer chaque coupe comme FEF. Si on cherche au contraire l'étendue des espaces comme YHEZ qui commencent à la premiere ordonnée YH, qui est égale à SC ou à $a\sqrt{\frac{1}{3}}$, on obtiendra en les divisant par a les parties x de l'axe du conoïde qui commencent à son sommet. L'autre branche RQ de la courbe NRQ fournira d'autres valeurs de z, qui étant appliquées perpendiculairement le long de HB, donneront un autre courbe YX, & d'autres valeurs pour les parties de l'axe du conoïde. La proue prendra une autre forme ; mais elle sera toujours également ouverte par l'extrémité. Le demi-circuit HG de l'ouverture sera toujours égal à la plus petite ordonnée SR de la courbe QRN.

Fig. 109.

CHAPITRE IV.

De la formation de plusieurs autres proues qui éprouvent la moindre résistance possible en fendant l'eau.

ON voit qu'il sera toujours facile de déterminer le solide dont on doit couvrir toute base proposée : il est même clair qu'en variant le systême de ses coupes, on réus-

fira à trouver différentes folutions de ce problême qui paroiffoit auparavant affez difficile à traiter, lorfqu'on le confideroit généralement. Il faut cependant avouer qu'il n'eft pas aifé dans la pratique de profiter de cette généralité, parce qu'il faudroit néceffairement s'engager dans le calcul d'un trop grand nombre de differentes tables pour les mettre entre les mains des Conftructeurs. C'eft ce qui m'a invité à chercher fi on ne pouvoit pas tirer parti des tables déja calculées des deux premiers conoïdes du Chapitre II, & j'ai reconnu fans peine qu'elles pouvoient nous fuffire.

I.

Si l'ancien conoïde poffede feul la propriété de recevoir fur chaque zone de fa furface, de quelque largeur qu'elle foit, la moindre impulfion poffible, les deux conoïdes ont au moins cela de commun, quoique le fecond ne jouiffe de cette proprieté que fenfiblement, que les efpeces de triangles, qui font interceptés entre deux diverfes fituations de la courbe génératrice, & qu'on peut confiderer comme les élemens de la furface, éprouvent auffi la moindre réfiftance. Il fuit de-là que fi la bafe du conoïde, au lieu d'être un cercle, eft un triangle ABD (Fig. 110.) on doit former avec la même courbe le conoïde triangulaire ADEB dont il faut couvrir ce triangle. Car la furface du conoïde triangulaire fera compofée de triangles élémentaires de même grandeur, & également expofés à l'impulfion du fluide que ceux du conoïde circulaire. On voit affez que ce ne font pas les trois courbes qui forment les arrêtes AE, BE & DE, qui doivent être égales à la courbe génératrice de l'un ou de l'autre conoïde dont la bafe eft un cercle; mais que c'eft la courbe FE dont le plan CFE eft perpendiculaire au côté AD. En effet fi on confidere dans cet endroit un triangle élementaire F*ef*, il doit être parfaitement égal au triangle correfpondant du conoïde circulaire infcrit; & il eft évident que tous les autres triangles élementaires qui forment chaque face AED, doivent

Fig. 110.

doivent recevoir la même impulsion que le triangle F*ef*, Fig. 110. aussi-tôt qu'ils ont leurs bases F*f* égales. On peut appliquer aussi ce que nous venons de dire des bases triangulaires à toutes les bases formées en polygone ; aussi-tôt que toutes les perpendiculaires comme CF abaissées de leur centre sur leurs côtés, sont parfaitement égales.

Ce sera encore la même chose à l'égard des bases mixtilignes formées en parties d'arcs de cercles & de lignes droites, conditionnées comme nous venons de le spécifier. Si, par exemple, la base ACB est formée par en haut de deux arcs de cercles égaux, dont le centre soit en C, & par en bas de deux lignes droites tangentes aux deux extrémités de ces arcs, lesquelles viennent se rencontrer en D ; il est évident que le solide conoïdal dont il faudra couvrir cette base, doit être encore formé des mêmes lignes courbes que l'un ou l'autre conoïde parfait, l'ancien ou le nouveau.

II.

Nous saisirons l'occasion, puisqu'elle se présente, de faire remarquer le grand avantage dont jouit le conoïde triangulaire de la figure 110. De toutes les bases de même étendue, c'est la circulaire qui est la moins propre à recevoir le solide de moindre résistance, & plus on réduira cette base à un polygone qui aura moins de côtés, plus la figure deviendra avantageuse. Un quarré ou un rectangle est préférable à un cercle, & par la même raison un triangle est préférable à un quarré, & est à cet égard, plus avantageux que tous les autres polygones. La différence ne vient pas du plus ou du moins de fluide que le solide rencontre dans son mouvement, puisque les bases étant de même grandeur, tous les solides sont exactement choqués par le même nombre de molécules ; mais l'avantage qu'a le triangle, & souvent aussi le trapeze sur le rectangle & sur tous les autres polygones, vient de ce que son apothême ou la perpendiculaire abaissée de son centre sur

Fig. 110. ses côtés, est plus petite ; ce qui est cause que le solide qui le garantit du choc, est plus aigu. On doit, par exemple, quant à l'incidence avec laquelle se fait le choc, ne comparer le conoïde triangulaire que nous avons sous les yeux, qu'avec le conoïde circulaire qui a la perpendiculaire CF pour rayon de la base. Ainsi il est réellement moins obtus & éprouve moins de résistance que le conoïde circulaire dont la base est de même étendue que la sienne, puisque ce dernier a son rayon considérablement plus grand que CF. Le conoïde triangulaire étant préférable en fait de résistance, il l'est aussi en fait de dérive dans les routes obliques ; il rend cette dérive un *minimum minimorum.*

Si au lieu de comparer entr'elles les bases qui sont de même étendue, on compare celles qui ont la même largeur & la même hauteur, on verra que le conoïde circulaire est très-préférable au conoïde circonscrit qui a un rectangle pour base, mais que le conoïde triangulaire l'emporte encore de beaucoup sur les deux autres. Comme sa base est considérablement plus petite que la circulaire, il rencontre dans son mouvement une moindre quantité de fluide, & outre cela, il la rencontre plus obliquement, à cause de la petitesse de la perpendiculaire CF. Ces deux chefs rendent l'impulsion presque trois fois plus petite ; & il suit de là, que si les frégates dont les coupes faites perpendiculairement à la longueur sont des demi-cercles, peuvent acquérir dans leur sillage la moitié de la vîtesse absolue du vent ; celles ausquelles il sera permis de donner des coupes triangulaires, parce qu'elles seront moins embarrassées par le poids de leurs parties supérieures, pourront recevoir dans les routes à peu près directes, un quart plus de vîtesse, ou prendre environ les cinq huitiemes de celle du vent.

III.

Mais pour revenir à la formation de nos solides, il est facile d'étendre infiniment davantage l'usage particulier de l'ancienne solution ou de l'ancienne figure, parce que,

comme on l'a déja dit plusieurs fois, la proprieté de recevoir la moindre impulsion, n'est pas plus attachée à la surface entiere qu'à quelle zone on veut, qui est comprise entre deux cercles paralleles. Supposons qu'il s'agisse d'une base ABDE (Fig. 111.) faite en rectangle ou en trapeze, entre les côtés duquel il y ait quelle proportion on voudra; ou prenons une autre base (Fig. 112.) composée de deux quarts de cercle AOB & PED liés ensemble par un rectangle intermédiaire BOPD. Je conçois dans ces bases au dedans les unes des autres des paralleles FGHI, KLMN, &c. au circuit ABDE, en faisant ensorte que toutes les parties de ces paralleles soient exactement à la même distance les unes des autres : cette condition sera remplie dans la premiere de ces deux figures si tous les points G, L, &c. H, M, &c. sont situés sur les deux lignes droites BO, DP qui divisent les angles ABD, EDB, par la moitié. Ces paralleles représenteront les différentes coupes verticales de la proue, faites perpendiculairement à son axe, ou parallelement au plan ABDE sur lequel elles sont projettées; & il est évident qu'elles diminueront ici en progression arithmétique. Mais il n'en faut pas davantage, pour qu'on puisse donner la même courbure au conoïde dont il faut couvrir ces bases, qu'à l'ancien qui a pour base un cercle; & cela parce que dans l'ancien conoïde, de même que dans tous les autres qui sont exactement circulaires, les circonférences des zones observent la même loi, ou qu'elles sont en progression arithmétique, aussi-tôt que les ordonnées s'excedent d'une quantité constante les unes les autres. J'examine le rapport qu'il y a entre la circonférence ABDE de la base & la parallele la plus intérieure, ou la plus petite, qui se réduit ici à la seule ligne OP. Je cherche deux ordonnées CD & XV, (Fig. 105.) qui ayent entr'elles le même rapport dans la courbe BVD, qui forme le conoïde parfait de *moindre résistance*; & je reconnois que c'est de la partie DV de la courbe dont il faut se servir, pour former les conoïdes dont nous avons actuellement besoin.

Fig. 111. & 112.

Fig. 111 & 112.

Le conoïde de la figure 111 aura trois faces distinctes; les deux latérales seront triangulaires & l'inférieure aura la forme d'une espece de trapeze. Mais chaque de ces faces doit avoir dans le sens perpendiculaire aux trois côtés AB, BD & DE de la base, la courbure représentée par l'arc DV de la figure 105. Ce sera la même chose, pour le conoïde de la figure 112 qui aura la forme représentée dans la figure 113 & qui se terminera de même que le précédent, par une ligne droite ST, exceptée dans le cas où OP sera trop petite; car alors l'un & l'autre conoïde aura une ouverture à son sommet, qui répondra à celle qu'a toujours le conoïde qui est exactement circulaire. Nos deux solides irréguliers ne ressemblent aucunement à celui dont nous les déduisons; mais il est néanmoins évident que les zones des uns sont égales aux zones correspondantes de l'autre. Elles n'ont pas les mêmes rayons, ou elles ne répondent pas aux mêmes ordonnées, mais les différences des ordonnées sont exactement les mêmes, de même que les petites parties de l'axe ausquelles elles répondent: de plus leurs circuits ou circonférences sont précisément de même longueur, ou ont au moins des longueurs proportionnelles. Ainsi, outre qu'elles ont des surfaces de même étendue, elles sont exposées au choc exactement avec la même incidence, & par conséquent les impulsions particulieres que souffrent toutes les zones, suivent la même loi ou la même progression. C'est pourquoi un des conoïdes ne peut pas éprouver de la part du fluide la moindre résistance possible, sans que les autres n'ayent aussi la même proprieté.

Fig 112 & 113

Si la largeur AE (Fig. 112 & 113.) de la base ou de la plus grande des coupes verticales est de 40 pieds, pendant que la hauteur ou le creux OB ou PD est de 16 pieds, comme cela se trouve dans plusieurs navires, l'intervalle OP sera de 8 pieds, & les arcs de cercle AB & DE, qui auront 16 pieds de rayon, seront chacun d'environ 25 $\frac{1}{7}$ pieds. Ainsi la circonférence ABDE de la plus grande zone sera de 58 $\frac{2}{7}$ pieds; au lieu que le circuit OP, ou ST

de la plus petite, ne sera que de 8 pieds. Cela supposé, il n'est question que de trouver dans la courbe BD (Fig. 105.) ou dans la Table des dimensions de la même proue, deux ordonnées qui soient dans le même rapport. On peut en trouver une infinité, comme 308 & 2244; ou 400 & 2914 $\frac{1}{4}$, &c. On prendra les premieres ou les dernieres, selon qu'on voudra donner plus ou moins de saillie à la proue. Si on s'arrête à 400 & à 2914 $\frac{1}{4}$, leur différence 2514 $\frac{1}{4}$ qui est égale à DY (Fig. 105.) représentera AO, ou BO, ou DP, pendant que la différence XC ou VY = 5470 des abscisses 78 & 5548, marquera la saillie OS de notre conoïde ou de notre proue, & que DV marquera la courbure AS. La différence DY = 2514 des ordonnées répondant à AO qui est de 16 pieds; la différence 5470 des abscisses répondra à proportion à environ 34 pieds 9 $\frac{2}{3}$ pouces pour la saillie OS du conoïde; & il n'y aura donc pour obtenir effectivement la courbure AS de la proue, en employant notre Table, qu'à tracer une figure semblable à la cent cinquieme, & qui soit assez grande pour que les 2514 parties de DY répondent à 16 pieds, ou les 5470 de YV à 34 pieds 9 $\frac{2}{3}$ pouces; & alors la portion DV indiquera la courbure requise AS ou BS. En un mot, il n'y a toujours qu'à se souvenir que si la Table ne marque pas immédiatement les ordonnées & les abscisses de la courbe AS (Fig. 113.) ce n'est que parce que nous n'employons qu'une partie de la courbe DB de la figure 105, & que nous la rapportons à un autre axe. Mais il n'y a qu'à retrancher 400 pour la valeur de XV, de toutes les ordonnées de la Table, & 78 pour la valeur de AX, de toutes les abscisses; & on aura les ordonnées & les abscisses de l'arc VD par rapport à VY pris pour axe; ou les co-ordonnées de notre courbe AS (Fig. 113.) par rapport à son axe OS.

Fig. 112 & 113.

IV.

Voici encore un expédient très-simple par le moyen duquel on donnera plusieurs autres figures à la proue, &

dont on pourra se servir lorsqu'on voudra que la carene ait moins de façons. Cet expédient, qui a quelque rapport avec la solution du premier article du chapitre précédent, consiste à donner aux coupes de la proue, vers son extrémité, des figures différentes de celle qu'a la plus grande coupe : c'est ce que nous éclaircirons par quelques exemples.

Fig. 114. & 115.

Lorsque la coupe verticale du vaisseau faite pependiculairement à sa longueur dans l'endroit le plus gros, sera un trapeze ABDE (Fig. 114.) au lieu de former les autres coupes par d'autres trapezés, dont les deux côtés & la base inférieure conservent un parfait parellelisme avec les côtés & la base du premier trapeze ABDE, comme dans la figure 111, il n'y aura qu'à retrécir seulement les trapezes FGHI, KLMN, &c. Le Lecteur sçait le motif que nous avons d'insister souvent sur ces sortes de figures : nous l'avons exposé dans le chapitre VII de la section précédente. Les coupes deviendront des triangles OVP, QRS, &c. lorsque le retrécissement sera porté plus loin ; & enfin la proue deviendra semblable à celle qui est représentée dans la figure 115. A l'égard de toute la partie qui aura les trapezes pour coupes, il faudra qu'elle soit parfaitement rectiligne, ou ce qui revient au même, que les deux flancs de la proue soient des surfaces exactement planes, jusqu'à ce qu'ils viennent former par leurs extrémités le triangle OVP. Les deux flancs ABVO, & EDVP qui sont parfaitement plans, deviennent ensuite courbes prolongés au-delà du triangle OVP ; & la proue prend la forme d'un conoïde triangulaire dont Z est le sommet, & qui est semblable à celui de la figure 110.

Il n'est pas difficile de se convaincre que toute la premiere partie de la proue doit être formée par des plans. On voit assez qu'il ne faut point faire entrer dans les circuits des zones les bases BD, GH, &c. puisqu'elles ne sont point exposées au choc. Ainsi les circuits des zones n'augmentent plus ici en progression arithmétique, mais ils sont parfaitement égaux ; & les lignes AO & BV, &c. (Fig 115.) au lieu de répondre à une partie sensible de la

courbe BVD de la figure 105, ne le doivent faire qu'à une partie infiniment petite, & elles doivent par conséquent être droites. C'est ce qui se concilie aussi, non-seulement avec ce que nous avons vu à la fin du chap. précédent, mais aussi avec ce que nous avons prouvé dans l'article I. du chapitre I. Car si les lignes droites BV & DV (Fig. 115.) reçoivent la moindre impulsion possible, elles ne doivent pas perdre leur proprieté, lorsqu'on leur donne une certaine largeur, pourvu que ce soit la même par-tout.

Fig. 116. & 117.

V.

Ce sera encore la même chose, si on le veut, lorsque la plus grande coupe AOPPOA (Fig. 116) sera formée de chaque côté par un arc AO de cercle, par une droite OP tangente à l'extrémité O de l'arc, & enfin par une droite horisontale PP. Les autres coupes, comme FGHIIHGF, seront formées de chaque côté par un arc FG parallele à AO, & dont le centre sera en C; par une droite GH parallele & égale à OP; & par un arc de cercle HI dont le centre sera en P. Cette seconde coupe aura pour base II qui sera, pour ainsi dire, *le plat* de la varangue, & qui ne sera point exposée à l'impulsion; & cette base se réduira à rien, lorsque la coupe deviendra KMEMK. Mais enfin les contours ou les demi-contours, comme AOP, FGHI, KLME, qui seront exposés au choc de l'eau, au lieu d'être en progression arithmétique, seront encore parfaitement égaux dans toutes les premieres zones, comme il est facile de le reconnoître. Ainsi il est certain que la saillie de la proue doit être formée en ligne droite, au moins depuis la coupe APPA jusqu'à l'autre KLELK. Entre AO & KL, la proue sera une portion de zone de cône: entre OP & LM, la surface sera un rectangle; & depuis P jusqu'en ME, ce sera une surface concave conique dont le sommet sera en P. C'est ce que j'ai tâché d'exprimer dans la figure 117, mais en laissant à l'imagination du Lecteur à suppléer au défaut de la repré-

Fig. 116. & 117.

ſentation. Au-delà de la coupe KMEMK, la proue prendra ſenſiblement la forme dont nous avons parlé à la fin du premier article. Je dis ſenſiblement, car elle ne prendra exactement cette figure qu'au-delà de la coupe RQR; Toute la partie interceptée entre KMEMK & RQR devroit être un peu plus convexe, mais on peut ſans inconvénient négliger cette plus grande convexité, & ſe ſervir toujours des dimenſions marquées dans la premiere Table du chapitre II. Quelquefois on recherche avec ſoin les difficultés géométriques, pour avoir le plaiſir de les réſoudre, au lieu que nous les évitons actuellement avec le même ſoin, afin d'épargner aux Conſtructeurs, s'il eſt poſſible, toutes les diſcuſſions un peu embarraſſantes.

VI.

Toutes ces figures changeront un peu, ſi au lieu de donner à la proue la proprieté de fendre l'eau avec la plus grande facilité poſſible dans la route directe, on veut qu'elle ait cette proprieté dans les ſeules routes obliques, lorſque le navire eſt le plus incliné. Si le vaiſſeau ne s'inclinoit point, ou ſi en s'inclinant, le circuit des coupes ou des zones de ſa ſurface ne ſouffroit aucun changement, la figure qui éprouve la moindre impulſion dans un cas, l'éprouveroit auſſi dans les autres; ce qui arrive à la proue parfaitement conoïdale. Mais il y a ordinairement de la différence; & lorſqu'il y en aura, il vaudra mieux s'attacher à accelerer la vîteſſe du ſillage dans les routes obliques. Suppoſé donc que le vaiſſeau dont ABDE (Fig 114.) eſt la plus grande coupe verticale faite perpendiculairement à ſa longueur, s'incline, lorſqu'il ſingle le plus obliquement, de maniere que la ligne *ae* devienne horiſontale & ſe trouve dans la ſurface de l'eau; les circuits *a*B+D*e*, *f*G+H*i* &c. des coupes expoſées au choc, ne feront plus égaux entr'eux, mais feront en progreſſion arithmétique. C'eſt pourquoi les flancs de la proue ne ſeront plus des ſurfaces planes comme dans la figure

figure 114, mais ils auront une courbure considérable qu'il faudra déterminer par la méthode expliquée dans l'article II. Rien ne changera dans la proue dont AOPPOA (Fig. 116.) est la premiere coupe, à moins que pour rendre le vaisseau meilleur voilier, on ne termine le haut de cette coupe, par deux tangentes T*a*, T*a*: lorsque le navire singlera dans les routes obliques, ce sera ensuite *a*TPPT*b* la partie actuellement plongée ; & les circuits des premieres zones, au lieu d'être égaux, pourront être considérés comme en progression arithmétique, quoiqu'ils ne suivent pas exactement cette progression.

Fig. 116.

VII.

Mais enfin on voit que dans toutes les différentes figures que nous attribuons à la coupe du navire faite perpendiculairement à sa longueur dans l'endroit le plus gros, la proue ne prend pas une plus grande courbure dans sa saillie, que n'en a la surface de l'un ou de l'autre connoïde parfait qui éprouve le moins de résistance ; & que quelquefois cette courbure s'évanouit entierement & se transforme en ligne droite, pour ne rien dire du cas où elle passe de l'autre côté de la ligne droite, en devenant concave. Ainsi la courbure que doit avoir la proue dans sa saillie, ne varie qu'entre des limites assez étroites. L'une de ces limites est la ligne droite, & l'autre laquelle on veut des deux courbes qui engendrent les deux connoïdes parfaits que nous avons montré à tracer. Selon que les circuits des zones de la proue approchent plus d'être égaux entr'eux ou diminuent plus subitement, la figure s'approche plus ou moins de l'un ou de l'autre terme. On voit aussi maintenant la raison pour laquelle plus on diminue *les façons* de l'avant, plus on doit rendre les *lisses* droites*. On ne peut pas diminuer les façons sans augmenter les circuits des zones de l'extrémité de la proue, puisque ces zones descendent ensuite plus bas ou plus près de la quille ; & les circuits des zones approchant d'être égaux, la cour-

* Voy. le chap. 11. section. 1. liv. 1.

bure dans le ſens de la ſaillie doit diſparoître, ou ce qui revient au même, toutes les *liſſes*, non-ſeulement celles d'en bas, mais celles d'en haut doivent perdre de leur courbure, & devenir plus droites. Il faudroit mêmes les rendre parfaitement droites, conformément à ce que nous avons établi, ſi les contours des zones expoſées au choc étoient exactement égaux.

Ce que nous avons dit touchant le retreciſſement ſubit qu'on doit donner à la partie de la carene qui forme la proue, à commencer de l'endroit le plus large, ſe trouve également confirmé ici. Car il n'importe que la proue prenne dans le ſens de ſa ſaillie plus ou moins de convexité, la premiere partie de la courbure à commencer vers le milieu du vaiſſeau, au lieu de reſter ſenſiblement parallele à l'axe dans un certain eſpace, commence toujours par s'en approcher, ou à devenir convergente avec lui : ce qui démontre que le navire doit perdre tout-à-coup ſa plus grande groſſeur, malgré la pratique contraire & conſtante de tous les Conſtructeurs. Il faut encore une fois que le premier gabari ou que cette coupe dans laquelle le navire eſt le plus gros, ſoit marquée par une arrête ; & que la proue ſoit ſenſiblement diſtinguée de la poupe, ou la partie antérieure de la carene de la partie poſtérienre, à peu près comme le ſeroient deux cônes, ou pour le moins deux connoïdes hyperboliques ou paraboliques joints par leurs baſes. Je ſçais bien qu'il eſt aſſez difficile de ſuivre entierement en cela les préceptes de la théorie ; une pareille arrête ſeroit très-ſujette à ſe briſer. Mais il faut au moins, ſi on peut ſe permettre de l'effacer, ſe reſſouvenir qu'elle devroit ſubſiſter, & qu'elle eſt toujours demandée par la figure qui trouve le moins de réſiſtance à fendre l'eau.

VIII.

Après tout, la nature du problême que nous traitons actuellement laiſſe une aſſez grande liberté aux Conſtruc-

teurs, & c'eſt la même choſe de tous les autres dont il eſt queſtion dans cette ſection. Quelquefois, lorſqu'il s'agit d'obtenir le *maximum* ou le *plus grand* de certains avantages, on manque tout, ſi on s'éloigne le moins du monde du terme précis; & quelques autres fois on peut ſans inconvénient ſe diſpenſer de s'y aſſujettir dans la derniere rigueur. Cette différence vient des diverſes loix que ſuivent entr'elles les différentes quantités entre leſquelles il s'agit de choiſir. Si ces quantités ſont exprimées par les ordonnées d'une courbe qui devienne parallele à ſon axe, il y a un eſpace conſidérable où toutes les ordonnées ſont ſenſiblement égales; & quoiqu'il ſoit vrai mathématiquement parlant que le point où ſe trouve la plus grande ou le *maximum*, n'a aucune extenſion, il n'eſt pas moins certain qu'on peut dans la pratique s'arrêter à quelque diſtance de ce point, & jouir encore du même avantage. C'eſt ce qui arrivera toutes les fois qu'il faudra, comme ici, pour réſoudre le problême, rendre nulle la différentielle & non pas la rendre infinie. Le *maximum* étant de cette eſpece dans toutes les recherches préſentes, il en réſulte comme on le voit, une commodité conſidérable; on peut ſans inconvénient altérer les figures géométriques, auſſi-tôt qu'on y ſera obligé par quelques circonſtances, effacer les angles, adoucir certains contours &c. Il ſuffira dans tout cela de ne pas agir comme ſi on n'avoit aucune connoiſſance du terme dans lequel réſide la perfection, & d'être attentif de ne violer que le moins qu'on pourra la regle, dans les occaſions mêmes où on ſera obligé de la violer le plus. Il eſt vrai auſſi, pour tout dire, que l'avantage qu'on peut ſe propoſer ici eſt, par cette même raiſon, beaucoup moins conſidérable que celui qu'on obtiendra en changeant les principales dimenſions du navire. C'eſt le retreciſſement de la carene ou ſon alongement qu'il faut ſur-tout avoir en vue; parce que le changement n'a point alors de terme, ou qu'il n'a de borne que l'infini.

CHAPITRE V.

De la proue de la plus grande vîteſſe, ou de celle qui rend le vaiſſeau le plus capable de porter la voile, en même tems qu'elle fend l'eau avec le plus de facilité.

I.

Nous nous ſommes tellement livrés à l'examen des figures qui ſouffrent par la rencontre des fluides la moindre impulſion poſſible, ou qui dérivent le moins qu'il ſe peut *, que nous avons comme oublié la diſtinction qu'il y a entre ces figures & celles qui ſont réellement les plus avantageuſes pour rendre le ſillage rapide. Dans la recherche des premieres, nous n'avons eu égard ni à la peſanteur du navire, ni à la force qu'il doit avoir pour ſoutenir la voile : il n'a été queſtion que de déterminer la forme qui devoit éprouver moins de réſiſtance de la part de l'eau, quoiqu'il ſe puiſſe faire que cette proprieté faſſe tort à quelqu'autre qui influe autant ſur le ſillage. Il nous faut maintenant joindre l'autre conſidération, faire attention à la peſanteur du navire, ou plutôt à ſon moment par rapport au métacentre. Il eſt certain qu'à cauſe de cette nouvelle condition, le premier degré de renflement que nous donnerons à la proue, que nous regardions comme parfaite, ne ſera toujours qu'avantageux. Car la réſiſtance qu'éprouvoit la proue étant un *minimum*, & ſa différentielle étant nulle ; lorſqu'on commencera à groſſir la proue, en partant de cette figure déja reglée, la réſiſtance ne changera point, & néanmoins la ſolidité du vaiſſeau, ſa peſanteur, ſa force pour porter la voile augmenteront, & il y aura donc réellement à gagner. Il eſt vrai qu'il ſe peut faire que cet avantage ne s'étend pas loin ; parce que pour peu qu'on renflera la partie antérieure de la carene, la réſi-

* Voy. le chap. 8 de la premiere ſect. de ce troiſieme livre.

ſtance de l'eau augmentera en plus grande raiſon que la plus grande étendue qu'on pourra donner aux voiles. Mais puiſqu'il eſt démontré que les premiers degrés de changement ſont bons, il eſt à propos de voir ſi les autres ne le ſeront pas également : c'eſt toujours une choſe qui mérite d'être ſérieuſement examinée.

II.

Nous ne devons pas regarder ici le tranſport d'une plus grande maſſe, comme un effet plus grand qui ſoit à rechercher; puiſqu'il n'eſt queſtion pour nous, que de procurer au ſillage la plus grande rapidité poſſible; ſans que nous nous mettions en peine le moins du monde, de la quantité de la charge que pourra porter la frégate ou la corvette. Il eſt vrai, que ſelon que la carene a plus ou moins de maſſe, ſon inertie ſe refuſe d'abord plus ou moins à la vîteſſe qu'on veut lui imprimer, & que le navire met plus ou moins de tems à acquérir ſon mouvement uniforme, comme nous l'avons déja dit pluſieurs fois. Mais qu'importe-t-il que cette acquiſition ſe faſſe plus ou moins vîte, puiſqu'il eſt certain que la choſe ſe conſomme toujours dès les premiers inſtans du ſillage, avant même qu'on ait achevé d'orienter les voiles; & que le plus ou le moins de maſſe ne change rien au dernier effet ou à la vîteſſe acquiſe & déja uniforme, qui ne dépend que du ſeul équilibre entre l'effort du vent & la réſiſtance de l'eau? Ainſi il eſt clair qu'on doit s'attacher ici à diminuer cette derniere réſiſtance, ſans nul égard à la maſſe tranſportée; ou que ſi l'on y a égard, ce doit être dans l'unique vue d'augmenter la ſtabilité du navire, afin de pouvoir donner plus d'étendue aux voiles.

III.

Il y auroit une autre attention à avoir, ſi les navires n'étoient deſtinés qu'à ſingler vent en poupe. Il faudroit rendre l'impulſion relative verticale de l'eau ſur la proue,

la plus grande qu'il se pourroit par rapport à l'impulsion relative qu'elle souffre dans le sens direct ou de l'axe. La proue étant ensuite poussée en haut avec le plus de force, ou ce qui revient au même, la direction du choc de l'eau faisant un plus grand angle avec l'horison, *le point vélique* se trouveroit plus élevé; le vaisseau pourroit porter plus de voiles, & une mâture plus haute dont la route directe; ce qui rendroit sa vîtesse infailliblement plus grande; puisque la résistance de l'eau seroit en même tems la moindre qu'il seroit possible, eu égard à la grande impulsion du vent. Mais il paroît plus sûr de regler les dimensions de la voilure sur ce qu'exigent les routes obliques, dans lesquelles la mâture trop haute exposeroit aux plus grands dangers. En effet, si pour profiter de l'avantage qu'a la route directe, on donnoit de plus grandes dimensions à la mâture, on se trouveroit exposé, à périr toutes les fois qu'il faudroit passer tout-à-coup à une route fort oblique, avant qu'on eût eu le tems de caler les voiles. Il faut remarquer outre cela que la proprieté qu'auroit la proue d'être poussée dans le sens vertical avec plus de force, préjudicieroit à celle qu'elle doit avoir d'être exposée à peu d'impulsion dans la détermination de son axe. Ces deux avantages, bien loin d'être attachés l'un à l'autre, sont au contraire réellement incompatibles dans presque toutes les figures; si on en excepte quelques-unes, comme la proue qui est terminée par un seul plan rectangulaire incliné en avant. C'est ce que nous pouvons sans doute nous dispenser de démontrer; puisque, tant s'en faut que nous devions rechercher un de ces avantages au préjudice de l'autre, nous ne pouvons pas même souvent en profiter, lorsqu'il vient comme s'offrir à nous.

IV.

Ainsi nous ne devons nous proposer dans la discussion présente, de diminuer la résistance que trouve la proue à fendre l'eau, qu'autant qu'on le peut faire sans trop nuire

à la grandeur de la mâture : le navire singlera ensuite plus vîte, & on jouira de cet avantage sans courir de risque. Nous ne devons pas rendre la résistance un *minimum* absolu comme ci-devant; mais la rendre la moindre que nous pouvons, eu égard au moment de la pesanteur du navire par rapport au métacentre ; parce que c'est de la grandeur de ce moment que dépend la quantité des voiles que le vaisseau peut soutenir. Si la poupe étoit assez grande par rapport à la proue, pour qu'il fût permis de regarder son moment comme infini, alors le plus ou le moins de renflement de la proue n'apporteroit aucun changement au moment total, & il faudroit donc dans ce cas, choisir entre toutes les figures celle qui éprouveroit absolument la moindre résistance. C'est ce qui montre que les connoïdes que nous avons déja déterminés, servent de limites d'un côté aux figures les plus avantageuses. A mesure qu'on suppose ensuite que le moment total de la pesanteur du navire diminue, il faut renfler la proue en s'éloignant par conséquent de la figure de moindre résistance ; & l'autre limite celle du plus grand renflement, se trouve, lorsqu'on supprime toute la poupe ou qu'on réduit le moment de la pesanteur du vaisseau à n'être plus le moment que de la seule pesanteur de la proue. Mais dans ce dernier cas, de même que dans tous les intermédiaires, la figure la plus avantageuse devient encore de plus en plus conforme à celle de la moindre résistance, à mesure qu'elle approche de son extrémité ou de son sommet : & cela parce que le moment de la partie restante diminuant toujours par rapport au moment total, on est plus en droit de considerer ce dernier moment comme infini

V.

Outre cette affinité qu'il y a entre les deux figures de la proue *de la moindre résistance* & de la proue *de la plus grande vitesse*, ces deux figures deviennent absolument les mêmes, toutes les fois que la coupe horisontale de la carene faite à fleur d'eau, est donnée, ou est regardée com-

invariable. Nous sommes obligés de supposer ici que le centre de gravité du navire est précisément dans le même point que le centre de gravité de sa carene : puisque nous ne sçavons pas de quelle matiere doit être formée la charge ou le lest. D'ailleurs il suffit que la pesanteur soit distribuée d'une maniere semblable dans les différentes figures qu'on compare actuellement, pour que cette supposition n'induise jamais à erreur. Mais aussi-tôt que la coupe horisontale de la carene faite à fleur d'eau, est invariable, sans que les diverses figures de la proue y apportent de différence, la force qu'a le navire pour soutenir la voile est constante ; elle est égale ou proportionnelle au produit de la pesanteur p par la quantité $\frac{\frac{2}{3}\int y^3 dx}{p}$ dont son centre de gravité est au-dessous du métacentre *, & ce produit ou ce moment est égal à $\frac{2}{3}\int y^3 dx$. Ainsi l'altération qu'on feroit à la figure de la moindre résistance, seroit non-seulement inutile, elle seroit en pure perte. C'est ce qui arriveroit, par exemple, dans les vaisseaux formés d'abord en parallelipedes rectangles, mais dont on termine ensuite la proue par une seule surface inclinée en avant : car cette surface étant par-tout de même largeur, doit être parfaitement plane, afin d'éprouver de la part de l'eau la moindre résistance ; & il est évident que la convexité qu'on lui donneroit en la rendant courbe, n'ajouteroit rien au moment ou à la force relative $\frac{2}{3}\int y^3 dx$.

* Voyez l'article 2. du chap. 8. de la sect. 2. du liv. précédent.

Nous voyons par la même raison que la proue de la figure 104 dont nous avons donné les dimensions à la fin du premier chapitre de cette section, réunit les deux proprietés, d'être de *la moindre résistance* ou de *la moindre dérive*, & en même tems de *la plus grande vitesse* : puisqu'on perdroit du côté de la moindre résistance, si on changeoit la courbure que nous avons trouvé qu'elle doit avoir dans le sens vertical, & qu'on ne gagneroit rien sur la quantité de voiles que le navire peut soutenir. Mais ce ne sera plus la même chose, aussi-tôt que la figure de la premiere tranche de la carene faite à fleur d'eau, dépendra de la

conformation

conformation des autres parties de la proue, comme cela arrive lorſqu'on s'aſſujetit à rendre la proue exactement conoïdale : il eſt évident que les deux figures doivent être différentes dans ce cas. En renonçant un peu à la premiere, lorſqu'on renfle la proue, on donne néceſſairement plus de largeur vers l'avant à la premiere tranche de la carene ; & auſſi-tôt que cette largeur eſt plus grande, la force relative ou la ſtabilité $\frac{2}{3}\int y^3 dx$ ſe trouve auſſi plus grande, & le navire peut porter une plus grande quantité de voiles. C'eſt ce qui ſe vérifiera auſſi dans la recherche que nous entreprenons actuellement de faire de la ſeconde de ces figures.

VI.

Nous travaillerons d'abord à découvrir les ſoutangentes de la courbe qui doit former le conoïde, en regardant la proue comme un cone tronqué d'une baſe & d'une hauteur données, mais dont nous ferons varier la ſituation des côtés. Ce tronc de cone eſt repréſenté par BGIHDE (Fig. 106.) nous nommerons a ſa hauteur ou ſa ſaillie AC; b le rayon CE ou CD de la baſe, & s la longueur entiere qu'auroit l'axe CF du cone, s'il n'étoit pas tronqué. Le rayon AI ou AH de la petite baſe, ſera $\frac{\overline{s-a}\times b}{s} = \frac{FA\times CE}{FC}$, & ſi au lieu de chercher l'étendue de cette petite baſe, nous prenons le quarré de ſon rayon, qui lui eſt proportionnel, nous aurons $\frac{\overline{s^2 - 2as + a^2}\times b^2}{s^2}$ qu'il faut multiplier par le quarré du ſinus total (l'unité) pour avoir l'impulſion $\frac{\overline{s^2 - 2as + a^2}\times b^2}{s^2}$ que ſouffre le petit plan GIH qui eſt frappé perpendiculairement. Nous trouverons le ſinus de l'angle d'incidence avec lequel l'eau frappe la ſurface courbe du cone, en faiſant cette analogie; $\sqrt{b^2 + s^2}$ (=FE) eſt à l'unité priſe pour ſinus total, comme b (=CE) eſt au ſinus $\frac{b}{\sqrt{b^2+s^2}}$ de l'angle EFC égal à l'angle d'incidence. Ce ſi-

Fig. 106.

Fig. 106. nus étant trouvé, il faut multiplier ſon quarré $\frac{b^2}{b^2+s^2}$ par l'étendue de la ſurface conique projettée ſur le plan BED, puiſque nous voulons trouver l'expreſſion de l'impulſion dans le ſens perpendiculaire à ce plan; c'eſt-à-dire, qu'il faut multiplier $\frac{b^2}{b^2+s^2}$ par l'excès du demi-cercle BED ſur le demi-cercle GIH, ou mettant les quarrés des rayons CE & AI à la place des demi-cercles, il faut multiplier $\frac{b^2}{b^2+s^2}$ par $\frac{2as-a^2}{s^2}\times b^2$; on aura $\frac{2ab^4s-a^2b^4}{b^2s^2+s^4}$ pour l'impulſion requiſe, & l'ajoutant à celle $\frac{s^2+2as+a^2}{s^2}\times b^2$ que reçoit le plan GIH, nous aurons $\frac{a^2b^2+b^4-2ab^2s+b^2s^2}{b^2+s^2}$ pour l'impulſion que ſouffre la ſurface entiere du tronc du cone.

On trouvera avec auſſi peu de peine la ſolidité de ce tronc & ſon moment par rapport au métacentre qui eſt en quelque point de l'axe AC. Si l'on continue à prendre les quarrés des rayons au lieu des demi-cercles & ſi on multiplie chacun de ces quarrés encore par le rayon, parce que le centre de gravité de chaque demi-cercle eſt toujours à une certaine partie de ſon rayon, & qu'il ne s'agit pas plus ici d'avoir le moment même qu'une quantité qui lui ſoit toujours proportionnelle, on trouvera $ab^3-\frac{3a^2b^3}{2s}+\frac{a^3b^3}{s^2}-\frac{a^4b^3}{4s^3}$ pour le moment du ſolide dont il s'agit; & ſi nous déſignons par M le moment de la poupe, nous aurons $M+ab^3-\frac{3a^2b^3}{2s}+\frac{a^3b^3}{s^2}-\frac{a^4b^3}{4s^3}$ pour le moment total du vaiſſeau, ou pour ſa ſtabilité. Il eſt vrai que nous conſiderons le poids comme également diſtribué par tout, ou la carene entiere comme homogene : mais il nous ſeroit difficile de faire autrement, & d'avoir égard à la diſtribution particuliere de la charge, afin de diſtinguer le centre de gravité de la carene de celui de tout le vaiſſeau. C'eſt par cette raiſon que nous avons recommandé ſi ſouvent, & que nous le faiſons encore ici, d'examiner toutes

les parties en détail; d'avoir égard à la distribution particuliere de la charge, & de voir, en mettant tout à l'épreuve du calcul, jusqu'à quel point le navire possedera effectivement chaque propriété. Enfin si nous faisons changer l'axe CF du cone entier, le moment changera de même que l'impulsion que reçoit la surface totale du tronc, & pour avoir l'un & l'autre changement, il n'y a qu'à différentier l'une & l'autre expression. La différentielle de l'impulsion $\frac{a^2b^2 + b^4 - 2ab^2s + b^2s^2}{b^2 + s^2}$ est $\frac{2ab^2s^2ds - 2a^2b^2sds - 2ab^4ds}{b^2 + s^2}$, Fig. 106.

& celle du moment $M + ab^3 - \frac{3a^2b^3}{2s} + \frac{a^3b^3}{s^2} - \frac{a^4b^3}{4s^3}$ est $\frac{3a^2b^3ds}{2s^2} - \frac{2a^3b^3ds}{s^3} + \frac{3a^4b^3ds}{4s^4}$.

VII.

Mais on ne doit pas changer l'étendue des voiles dans le même rapport que change le moment de la pesanteur du vaisseau : car la largeur des voiles doit rester la même tant qu'on ne touche point à la plus grande largeur BD de la carene : on ne peut faire varier que leur hauteur, & on ne doit la faire varier sensiblement que comme la racine quarrée du moment de la pesanteur; parce que, comme nous l'avons déja vu ci-devant, l'étendue des voiles variant selon cette racine quarrée & la hauteur du centre d'effort du vent variant aussi dans la même raison; il se trouve que le moment de l'effort du vent change en même rapport que celui de la pesanteur du navire; & de cette sorte l'équilibre entre ces deux forces n'est point alteré. Ainsi au lieu de comparer le moment $M + ab^3 - \frac{3a^2b^3}{2s} + \frac{a^3b^3}{s^2} - \frac{a^4b^3}{4s^3}$ à sa différentielle entiere, il ne faut le comparer qu'à la moitié $\frac{3a^2b^3ds}{4s^2} - \frac{a^3b^3ds}{s^3} + \frac{3a^4b^3ds}{8s^4}$, pour avoir le rapport selon lequel doit changer l'étendue des voiles. Il est évident d'un autre côté que pour avoir le tronc du cone le plus

Fig. 106. avantageux pour former la proue, nous n'avons qu'à nous arrêter à celui qui, lorſqu'on le change un peu, ou lorſqu'on fait varier la diſtance s à laquelle iroient ſe rencontrer les côtés, ne fait pas plus augmenter la réſiſtance de l'eau qu'on ne peut augmenter l'étendue des voiles. Car alors l'avantage ſera le même, ou ſa differentielle ſera nulle; & par conſéquent l'avantage ſera un *maximum*. C'eſt-à-dire que nous n'avons qu'à faire cette analogie $\frac{a^2b^2 + b^4 - 2ab^2s + b^2s^2}{b^2 + s^2} \mid \frac{2ab^2s^2ds - 2a^2b^2sds - 2ab^4ds}{\overline{b^2+s^2}^2} \parallel M + ab^3 - \frac{3a^2b^3}{2s} + \frac{a^3b^3}{s^2} - \frac{a^4b^3}{4s^3} \mid \frac{3a^2b^3ds}{4s^2} - \frac{a^3b^3ds}{s^3} + \frac{3a^4b^3ds}{8s^4}$; ou cette autre, qui eſt la même, $\overline{a^2 + b^2 - 2as + s^2} \times \overline{b^2 + s^2} \mid 2s^2 - 2as - 2b^2 \parallel M + ab^3 - \frac{3a^2b^3}{2s} + \frac{a^3b^3}{s^2} - \frac{a^4b^3}{4s^3} \mid \frac{3ab^3}{4s^2} - \frac{a^2b^3}{s^3} + \frac{3a^3b^4}{8s^4}$; & que ſi nous la réduiſons en équation, nous n'aurons plus qu'à en tirer la valeur de s, & nous obtiendrons la proue formée en tronc de cone; non pas celle qui reçoit la moindre impulſion poſſible de la part de l'eau, ou celle qui rend le vaiſſeau plus propre à porter une plus grande quantité de voiles; mais celle qui concilie enſemble, autant qu'il ſe peut, ces deux divers avantages, & qui eſt par conſéquent préférable à toutes les autres, eu égard à la promptitude de la marche.

VIII.

L'équation dont nous venons de parler ne fait qu'indiquer le tronc de cone le plus avantageux : mais ſi après avoir cherché la valeur de s pour la baſe BED & pour la faillie CA, nous la cherchons pour la baſe *bed*, & la faillie cA; ou ſi nous perfectionnons les troncs des cones de plus en plus, à-peu-près comme nous l'avons fait dans le ſecond article du Chapitre II. nous pourrons regarder s comme la ſoutangente de la ligne courbe qui doit former le conoïde le plus avantageux, & il ne nous reſtera donc plus pour réſoudre entierement le problême, qu'à avoir re-

cours à la méthode inverſe des tangentes ; après avoir mis x à la place de a qui marque les parties AC, ou Ac de l'axe ; y à la place de b qui marque les ordonnées CD ou Cd, & $\frac{ydx}{dy}$ à la place de s. Suppoſé qu'on regarde le moment M comme infini, tous les termes de l'équation qui ne ſeront pas multipliés par M deviendront comme nuls ; l'équation ſe réduira à $2Ms^2 - 2Mas - 2Mb^2 = 0$, ou à $s^2 = as + b^2$, & la revêtiſſant des expreſſions variables que nous venons de ſpécifier, nous la changerons en $\frac{y^2dx^2}{dy^2} = \frac{xydx}{dy} + y^2$, ou en $ydy^2 = ydx^2 - xdxdy$ qui étant la même que celle que nous avons trouvée dans le Chapitre que nous venons de citer, confirme ce que nous avons dit vers le commencement de celui-ci. Si on veut trouver l'autre conoïde qui ſert de limite à la plus grande courbure de la proue, mais une limite aſſez éloignée, principalement vers le ſommet, il n'y aura qu'à ſuppoſer M = 0. On trouvera une équation dans laquelle les dx & les dy multipliées enſemble s'éleveront juſqu'à la ſixieme puiſſance : mais comme les x & les y s'éleveront auſſi conjointement dans tous les termes au même degré, il ſera toujours facile, avec un peu de travail, de ſéparer les variables, & de réſoudre l'équation, en employant la quadrature des courbes, ſuppoſée connue.

Fig. 106.

IX.

Dans les cas ordinaires & actuels le moment M ne ſera ni infiniment grand ni infiniment petit ; & il doit néceſſairement contenir une partie conſtante. Tout ce qu'on peut faire de mieux, ce me ſemble, vû les circonſtances, c'eſt de ſuppoſer que M, au lieu de déſigner le ſeul moment de la poupe, indique celui du vaiſſeau en entier ; c'eſt-à-dire celui de la poupe & de la proue jointes enſemble, ou la ſtabilité totale. On ſera toujours en droit de traiter M comme conſtante ; & alors la proportion établie ci-devant ſe réduira à $\overline{a^2 + b^2 - 2as + s^2} \times \overline{b^2 + s^2} \mid 2s^2 - 2as$

Fig. 106. $-2b^2 \| M | \frac{3ab^3}{4s^2} - \frac{a^2b^3}{s^3} + \frac{3a^3b^3}{8s^4}$; & on aura l'équation $2Ms^2 - 2Mas - 2Mb^2 = \frac{3}{4}a^2b^3s^2 - \frac{5}{2}a^3b^3s + \frac{25}{8}a^4b^3 + \frac{3}{2}a^2b^5 - \frac{7a^3b^5}{2s} - \frac{7a^5b^3}{4s} + \frac{3a^2b^7}{4s^2} + \frac{7a^4b^5}{2s^2} + \frac{3a^6b^3}{8s^2} - \frac{7a^5b^5}{4s^3} - \frac{a^3b^7}{s^3} + \frac{3a^4b^7}{8s^4} + \frac{3a^6b^5}{8s^4}$ qui se change en $2My^2dx^6 - 2Mxydydx^5 - 2My^2dy^2dx^4 = \frac{3}{4}x^2y^4dx^6 - \frac{5}{2}x^3y^3dydx^5 + \frac{25}{8}xy^2dy^2dx^4 + \frac{3}{2}x^2y^4dy^2dx^4 - \frac{7}{2}x^3y^3dy^3dx^3 - \frac{7}{4}x^5ydy^3dx^3 + \frac{3}{4}x^2y^4dy^4dx^2 + \frac{7}{2}x^4y^2dx^2dy^4 + \frac{3}{8}x^6dy^4dx^2 - \frac{7}{4}x^5ydy^5dx - x^3y^3dy^5dx + \frac{3}{8}x^4y^2dy^6 + \frac{3}{8}x^6dy^6$. Mais on voit assez que c'est-là une équation à résoudre par les séries ou par quelqu'autre espece d'aproximation.

X.

Aussi-tôt qu'on est obligé de prendre ce parti, on sçait ce qu'il faut faire, & on est toujours sûr du succès. Cependant j'avouerai ingenument qu'avant de vouloir me livrer à ce travail aussi long que rebutant, j'ai cru qu'il étoit à propos de voir s'il ne m'étoit pas permis de m'en dispenser. Je me suis arrêté à l'équation $2Ms^2 - 2Mas - 2Mb^2 = \frac{3}{4}a^2b^3s^2 -$ &c. qui n'appartient encore qu'au simple tronc de cone le plus avantageux, & qui nous apprend la longueur s des soutangentes de la courbe qui forme le conoïde. J'ai supposé le moment M le moindre que j'ai pû, vu les dimensions que doit avoir le vaisseau, afin de rendre la courbure de la proue encore plus considerable ; & malgré cela, si j'ai trouvé comme je le devois, la soutangente s plus grande que dans le conoïde qui éprouve la moindre résistance, j'ai toujours trouvé la différence assez petite, pour qu'on pût n'y avoir que peu d'égard dans la pratique. Ainsi quoiqu'il soit vrai que ce ne soit pas la proue conoïdale qui éprouve la moindre résistance de la part du milieu, qui fasse singler le navire avec la plus grande vîtesse possible, parce qu'en donnant un peu plus de courbure ou de convexité au conoïde, sa plus grande pesanteur & la plus grande largeur font que le vaisseau sou-

tient ensuite mieux la voile, & que l'impulsion du vent se trouve plus augmentée à proportion que la résistance de l'eau; il y a cependant si peu de différence entre les deux figures, qu'on ne doit presque jamais faire difficulté de se servir de l'une à la place de l'autre. Fig. 106.

Les Lecteurs, sans s'engager dans un calcul trop long, peuvent se convaincre de la vérité de ce que nous avançons ici. Supposé que la demie largeur du navire soit représentée par 1, pendant que la longueur de la proue le soit par 3; si on cherche, par la construction de M. Newton, à quelle distance CF les côtés du tronc de cone doivent aller se rencontrer pour que le tronc reçoive la moindre impulsion possible, on trouvera que CF est à très-peu près de $3\frac{3}{10}$; & c'est donc là pour le point où l'ordonnée est 1 & l'abscisse 3, la longueur de la soutangente du conoïde que nous regardons comme celui de la moindre résistance. Mais si on fait entrer maintenant la considération du moment M de la pesanteur du navire & qu'on le suppose $=\frac{3}{2}$, on verra par notre équation que la soutangente s du nouveau conoïde, sera effectivement plus grande que $3\frac{3}{10}$, mais qu'elle sera considérablement moindre que $3\frac{1}{2}$. Il sera facile d'en déterminer la juste valeur, & d'en chercher d'autres, si on le veut, pour d'autres suppositions d'abscisses & d'ordonnées.



CHAPITRE VI.

Détermination de la figure de la proue de la plus grande vîtesse, lorsqu'elle est terminée par un simple trait horisontal.

I.

INDÉPENDAMMENT des tentatives que nous venons de nous permettre, il n'est pas difficile de résoudre dans toute sa complication, le problême qui nous occupe. Cependant nous nous contenterons d'insister sur le cas le plus simple, en supposant que la proue BAB (Fig. 118.) est terminée par un seul trait horisontal dont les deux parties AB, AB sont parfaitement égales de part & d'autre de l'axe AC; ou si on veut que cette proue soit terminée par une surface, nous supposerons que c'est par une surface verticale de même hauteur, élevée perpendiculairement sur le plan de la courbe BAB. La figure qui fend l'eau avec le plus de facilité étant dans ce cas particulier terminée par deux lignes droites ou deux plans AB, AB qui font un angle en A, nous jugerons plus aisément de l'effet que produira la condition que nous ajoutons actuellement, puisqu'il faudra lui attribuer toute la courbure que prendront les deux côtés. Nommant x les parties variables AE, AG de l'axe AC, & y les ordonnées correspondantes ED & GF, &c. on aura dx pour les parties infiniment petites de l'axe, & dy pour les différentielles des ordonnées; & si un fluide vient rencontrer la courbe parallelement à l'axe, l'impulsion directe sur la petite partie DH ou HF de la courbe, sera exprimée par $\frac{dy^3}{dy^2+dx^2}$ conformément à ce que nous avons vu dans le chapitre IV de la premiere section: avec cette seule différence que nous supposions alors que le sinus total étoit désigné par n, au lieu que nous le représentons

Fig. 118.

repréſentons actuellement par l'unité. L'expreſſion $\frac{dy^3}{dy^2+dx^2}$ convient à l'une ou à l'autre petite partie, ſelon que dx & dy repréſentent DI & IH, ou HL & LF : & ſi nous ſuppoſons que les deux petits côtés DH & HF changent de ſituation, & prennent la diſpoſition DhF, en faiſant changer dx de la petite quantité H$h = ddx$, & en rendant les dy, HI, ou LF invariables ; l'impulſion ſur une des petites parties de la courbe deviendra plus grande, en même tems qu'elle deviendra plus petite ſur l'autre ; & le changement ſur chacune ſera déſigné par $\frac{2dy^3\,dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$ qui ſe trouve en différentiant $\frac{dy^3}{dy^2+dx^2}$. Mais puiſqu'un de ces changemens ſe fait en plus & l'autre en moins, le changement total que ſouffre l'impulſion à laquelle ſont ſujettes les deux parties DH, HF conjointement, ſera repréſenté par $\frac{2dy^3\,dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2} - \frac{2dy^3\,dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$, expreſſion dans l'un des termes de laquelle la différentielle dx déſigne DI, pendant que dans l'autre elle déſigne HL.

II.

En même tems que ce changement ſe fera dans l'impulſion, il s'en fera un auſſi dans le moment de la peſanteur de la carene, ou dans la force qu'a le navire pour porter la voile. Ce moment, que nous nommerons M, comme dans le Chapitre précédent, eſt le produit de la peſanteur totale p du navire par la quantité dont ſon centre de gravité, que nous confondons ici toujours avec le centre de gravité de la carene, eſt au-deſſous du métacentre ; & ſera donc $= \frac{2}{3}\int y^3 dx$. Cela ſuppoſé, ſi nous prolongeons les ordonnées ED, KH, &c. juſqu'aux points M, N, &c. de maniere que les lignes EM, KN, &c. repréſentent les cubes des ordonnées, nous formerons une nouvelle courbe AMP, dont les aires comme AEM,

Fig. 118.

AGP, &c. représenteront les intégrales $\int y^2 dx$, & il suffira par conséquent de prendre les deux tiers de ces aires, pour avoir les momens particuliers des différentes portions correspondantes du navire, lesquels forment tous ensemble le moment ou la stabilité M. Mais lorsqu'on change la disposition des deux petits côtés DH, HF de la proue & qu'on les place en D*h*F, la courbe AP des momens change aussi de disposition; & les petits côtés MN, NP se plaçant en M*n*P, le moment de la pesanteur du vaisseau augmente, non pas des deux petits triangles MN*n*, NP*n*, mais des deux tiers de leur aire; puisque ce ne sont que les deux tiers de l'aire entiere que renferme la courbe AMP, qui représentent le moment total. L'étendue des deux petits triangles est égale à $3y^2dy \times ddx$ produit de $Nn = ddx$ qui leur sert de base, par la hauteur NO ou PQ, qui est égale à $3y^2dy$. Ainsi lorsqu'on change la disposition des deux petits côtés DH, HF de la proue, le moment total M de la pesanteur du navire augmente de la petite quantité $2y^2dyddx$, qui est les deux tiers de l'étendue $3y^2dyddx$ des deux petits triangles NM*n*, NP*n*; & ce changement se fait en même tems que celui $\frac{2dy^3dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^{\frac{3}{2}}} - \frac{2dy^3dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^{\frac{3}{2}}}$ sur l'impulsion totale que souffre la proue. Il faut après cela faire attention que le premier de ces changemens n'influe pas immédiatement sur le sillage comme le second; puisque la petite étendue qu'on peut donner de plus à la surface des voiles en conséquence de la plus grande force qu'a le navire pour soutenir l'effort du vent, ne répond pas au changement $2y^2dyddx$ de la stabilité M, mais seulement à sa moitié y^2dyddx, comme nous l'avons marqué dans l'autre chapitre. Or il suit de là que les deux différentes dispositions ou DHF ou D*h*F des deux petits côtés consécutifs DH, & HF de la courbe, seront parfaitement équivalentes, aussi-tôt que le rapport de $\frac{2dy^3dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^{\frac{3}{2}}} - \frac{2dy^3dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^{\frac{3}{2}}}$ à l'impulsion totale de l'eau sur la proue, que nous nomme-

rons I, ſera exactement le même que celui de y^2dyddx au moment total M. Il n'importe en effet que dans la ſeconde diſpoſition DhF, l'impulſion ou la réſiſtance I de l'eau ſoit plus grande de la petite quantité $\frac{2dy^3\,dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$. — &c. puiſque l'effet qu'elle pourra produire ſur le ſillage ſera détruit ſur le champ par la plus grande quantité de voiles que pourra porter le navire, laquelle ſera augmentée dans le rapport de M à y^2dyddx. Mais lorſque les deux diſpoſitions DHF & DhF ſont équivalentes, ou que l'une n'a aucun avantage ſur l'autre, la différentielle de l'avantage eſt alors nulle, & l'on a par conſéquent atteint le terme du *maximum* qu'on ſe propoſoit d'obtenir.

Fig. 118.

III.

Ainſi tout conſiſte à introduire dans tout le cours de la courbe cette proportion ; M | y^2dyddx | | I | $\frac{2dy^3\,dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$ — $\frac{2dy^3\,dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$, ou à rendre $\frac{2dy^3\,dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2} - \frac{2dy^3\,dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$ continuellement égale à $\frac{Iy^2\,dyddx}{M}$, ou ce qui revient au même, à faire $\frac{2dy^3\,dx}{\overline{dy^2+dx^2}^2} - \frac{2dy^3\,dx}{\overline{dy^2+dx^2}^2} = \frac{Iy^2\,dy}{M}$; car ddx eſt exactement la même dans les deux quantités. Pour le dire encore en d'autres termes, il faut que $\frac{2dy^3\,dx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$ qui appartient à chaque petit côté de la courbe, ſurpaſſe toujours la quantité $\frac{2dy^3\,dx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$ qui appartient au petit côté ſuivant, d'une quantité $\frac{Iy^2\,dy}{M}$. Mais cet excès des quantités $\frac{2dy^3\,dx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$ les unes ſur les autres, eſt à proprement parler leur différentielle ; & puiſque la différentielle de $\frac{2dy^3\,dx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$ doit être

Fig. 118. égale dans tous les points de la courbe à $\frac{1y^2 dy}{M}$, il faut que cette quantité même $\frac{2dy^3 dx}{dy^2 + dx^2}$ soit continuellement égale à $\frac{1y^3}{3M}$ qui est l'intégrale de $\frac{1y^2 dy}{M}$, ou à $c - \frac{1y^3}{3M}$, lorsque c est une quantité indéterminée constante. C'est-à-dire donc, que nous aurons $\frac{2dy^3 dx}{dy^2 + dx^2} = \frac{1y^3}{3M}$, ou $\frac{2dy^3 dx}{dy^2 + dx^2} = c - \frac{1y^3}{3M}$ pour l'équation constitutive du problême, ou pour l'équation en premieres différences de la courbe qui a la proprieté, avec ses diverses parties, de recevoir la moindre impulsion possible de la part du milieu dans lequel elle se meut, & de donner en même tems le plus de force au navire pour porter la voile. La quantité $\frac{2dy^3 dx}{dy^2 + dx^2}$ va en augmentant, lorsque dx étant d'abord nulle, croît jusqu'à parvenir à une certaine grandeur : c'est pourquoi on peut supposer $\frac{2dy^3 dx}{dy^2 + dx^2} = \frac{1y^3}{3M}$, ce qui donne une courbe qui partant de son sommet A perpendiculairement à l'axe, devient ensuite oblique, mais n'a qu'un cours très limité. Mais lorsqu'on fait croître davantage dx, la quantité $\frac{2dy^3 dx}{dy^2 + dx^2}$, qui étoit à son *maximum*, va en diminuant, & c'est alors qu'on a l'équation $\frac{2yd^3 dx}{dy^2 + dx^2} = c - \frac{1}{3M} y^3$ à laquelle nous nous arrêtons.

IV.

Il n'est donc plus question que de résoudre cette équation $\frac{2dy^3 dx}{dy^2 + dx^2} = c - \frac{1y^3}{3M}$; & nous y réussirons en employant l'expédient auquel nous avons déja eu recours plusieurs

fois. Prenant une quantité conſtante a, & une nouvelle variable z qui ſoit telle que $dx = \frac{z\,dy}{a}$, nous introduirons cette valeur de dx dans l'équation ; ce qui nous la changera en $\frac{2z\,dy^4}{a} = c\,dy^4 \times \overline{1 + \frac{z^2}{a^2}}^2 - \frac{1y^3}{3M} \times \overline{1 + \frac{z^2}{a^2}}^2$, dont on tire déja $\frac{1}{3M} \times y^3 = c - \frac{2a^3 z}{\overline{a^2 + z^2}^2}$ & $y = \overline{\frac{3M}{1} \times c - \frac{2a^3 z}{\overline{a^2 + z^2}^2}}^{\frac{1}{3}}$. Je différentie cette derniere équation, & j'ai $dy = \sqrt[3]{\frac{3M}{1}}$ $\times \frac{2a^3 z^2 dz - \frac{2}{3} a^5 dz}{\overline{\overline{a^2 + z^2}^{\frac{1}{3}} \times c \times \overline{a^2 + z^2}^2 - 2a^3 z}^{\frac{2}{3}}}$ qui m'apprend, lorſque je ſuppoſe $\frac{2a^3 z^2 dz - \frac{2}{3} a^5 dz}{\overline{\overline{a^2 + z^2}^{\frac{1}{3}} \times c \times \overline{a^2 + z^2}^2 - 2a^3 z}^{\frac{2}{3}}} = 0$, qu'on a la moindre valeur de y, auſſi-tôt que $3z^2 = a^2$ ou que $z = a\sqrt{\frac{1}{3}}$; & c'eſt préciſément dans cette circonſtance que la quantité $\frac{2dy^3 dx}{\overline{dy^2 + dx^2}^2}$ eſt un *maximum.* Mais enfin, introduiſant la valeur de dy dans $dx = \frac{z\,dy}{a}$, il vient $dx = \sqrt[3]{\frac{3M}{1}} \times \frac{2a^2 z^3 dz - \frac{2}{3} a^4 z\,dz}{\overline{\overline{a^2 + z^2}^{\frac{1}{3}} \times c \times \overline{a^2 + z^2}^2 - 2a^3 z}^{\frac{2}{3}}}$.

Ainſi nous avons la relation de y & de x à une troiſieme grandeur z, & le problême eſt entierement réſolu.

V.

On trouvera dans la Table ci-jointe, non-ſeulement les dimenſions de la courbe entiere ARB ; mais auſſi celle des trois courbes partiales comme RB (Fig. 119.) qui au lieu de commencer au point A, où $z = a\sqrt{\frac{1}{3}}$, commencent dans le point R où z eſt égale ou à $2a$, ou à $3a$, ou à $4a$. Ces courbes partiales ſont diſtinctes de la totale ou en ſont d'autres eſpeces : car elles ne ſont pas ſemblables aux parties de la totale, & la propriété qu'elles ont ne ſubſiſte auſſi que par rapport à leur axe particulier RS. On ſe ſervira de ces courbes partiales lorſqu'on voudra rendre

Fig. 118.

Fig. 118. & 119

la proue plus aigue; car la premiere courbe AB forme avec ſon axe en A un angle de 60 degrés; ce qui rend de 120 degrés l'angle de l'extrémité de la proue, & outre cela elle renferme un eſpace qui eſt très-large par rapport à ſa longueur, puiſque ſa plus grande ordonnée BC eſt à ſa plus grande abſciſſe AC à peu près comme 866 eſt à 1014. J'ai calculé les dimenſions de toutes ces courbes en 1000mes parties de l'unité, après avoir ſuppoſé $a = 1$; & j'ai joint auſſi les valeurs des intégrales $\int \frac{dy^3}{dy^2 + dx^2}$, & $\frac{1}{3}\int y^3 dx$, la premiere deſquelles marque l'impulſion I à laquelle chaque partie ſenſible de la courbe eſt ſujette à commencer aux points A ou R qui leur ſervent de ſommet, & la ſeconde marque le moment ou la ſtabilité particuliere dont eſt capable en même tems l'eſpace ou la ſolidité de la carene qui répond à cette partie. Ce ſont ces quantités, comme nous le montrerons plus bas, qui avec la longueur & la plus grande largeur qu'on veut donner à la proue, reglent le choix qu'on doit faire ou entre les lignes courbes, ou entre leurs diverſes parties; leur propriété étant principalement attachée au rapport qu'il y a entre M & I.

Ces lignes courbes au ſurplus peuvent non ſeulement ſervir à former les deux flancs de la proue, lorſque la baſe qu'il s'agit de garantir du choc eſt un rectangle; mais auſſi lorſque cette baſe a pluſieurs autres formes; lorſqu'elle ſera faite, par exemple, en trapeze, comme nous avons trouvé qu'elle devroit l'être. Au lieu que les deux flancs ABVO & EDVP de la figure 115 étoient formés par des plans, lorſque nous voulions donner à la proue une des figures qui éprouvent le moins de réſiſtance de la part de l'eau, il faudroit leur faire imiter dans leur courbure une de nos lignes courbes, & on fermeroit l'ouverture triangulaire OVP en la couvrant d'un eſpece de conoïde OVZP dont il eſt aiſé de trouver la figure. La méthode que nous venons de ſuivre, laquelle ſeroit propre à réſoudre des difficultés incomparablement plus grandes,

donne la formule $y = \sqrt[3]{\frac{6M}{I} \times \frac{a^3 z}{\overline{a^2 + z^2}^2}}$ pour les ordonnées du conoïde dont il s'agit, & $x = \sqrt[3]{\frac{6M}{I}} \int \frac{\frac{7}{2} a^{\frac{5}{2}} z^{\frac{1}{2}} dz - \frac{1}{2} a^{\frac{1}{2}} z^{\frac{5}{2}} dz}{\overline{a^2 + z^2}^2}$ pour les abſciſſes ou parties de l'axe à commencer au ſommet Z. Ce n'eſt pas ſans raiſon que nous parlons avantageuſement de la méthode que nous venons d'employer : elle donnera ſans peine la ſolution de la plûpart de ces problêmes fameux qui ont ſi fort occupé les Mathématiciens ſur les iſopérimétres, & ſur d'autres ſujets où il s'agiſſoit de *maximum* ou de *minimum* qu'on compliquoit avec d'autres conditions.

Fig. 118 & 119.

T A B L E

Des dimenſions des proues curvilignes de la plus grande viteſſe.

Premiere Figure.				Seconde Figure.				Troiſieme Figure.				Quatrieme Figure.			
Abſci. ou parties de l'axe.	Ordonn ou demies larg.	Impulsions	Momens ou ſtabilités	Abſciſ. ou parties de l'axe.	Ordonn. ou demies larg.	Impulſions.	Momens ou ſtabilités.	Abciſ. ou parties de l'axe.	Ordonn ou demies larg	Impulſions.	Momens ou ſtabilités.	Abciſ ou parties de l'axe.	Ordonn. ou demies larg.	Impulſions.	Momens ou ſtabilités.
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
126	203	146	0	356	169	31	0	200	65	7	0	125	31	2	0
395	531	332	9	712	335	61	4	400	129	13	0	250	62	4	0
62	7[illegible]4	406	4	871	402	71	10	701	225	22	1	500	122	7	0
75[illegible]	788	415	8	1042	464	78	19	861	272	2[illegible]	3	671	163	9	½
884	838	432	128	1136	493	81	26	1035	318	30	6	827	198	10	1
936	853	43	145	1200	510	82	31	1100	338	31	8	900	214	11	2
96	8[illegible]9	433	182	1272	526	84	38	1205	356	3[illegible]	0	999	234	12	2
97	862	433	188	1310	533	84	42	1285	371	32	13	1174	266	14	4
987	86[illegible]	433	193	1330	536	84	44	1332	379	33	14	1267	281	14	5
100[illegible]	865	433	199	1361	541	84	47	140[illegible]	387	33	17	1380	295	14	7
1014	866	433	204	1395	543	84	51	1466	391	33	19	1490	302	14	9

On doit enfin remarquer que puiſque le rapport $\sqrt[3]{\frac{3M}{I}}$ multiplie également la valeur des abſciſſes & des ordon-

Fig. 118 & 119.

nées de nos lignes courbes, il doit les faire augmenter ou diminuer, ſelon qu'il eſt plus ou moins grand, & qu'il ſert par conſéquent comme de parametre. Mais ſi les lignes courbes ſont tracées dans la ſuppoſition de $\sqrt[3]{\frac{3M}{I}}=1$, ſuppoſition pour laquelle on a conſtruit la table, on aura $3M=I$ ou $M=\frac{1}{3}I$; ce qui nous apprend que le moment non pas particulier de la proue, mais le moment total M de la peſanteur du navire, doit être égal au tiers de l'impulſion I; & après cela il eſt très-facile de diſtinguer les diverſes parties des courbes qu'on doit employer. Comme nous n'avons reſtraint le moment total M à aucune grandeur particuliere, nous avons donné au problême une généralité dont il ne jouit pas réellement; & cela eſt cauſe que les courbes priſes dans toute leur étendue ne ſont pas applicables aux cas ordinaires & actuels. Elles ne ſervent dans toute leur longueur, ou ce qui revient au même, on ne doit donner toute leur courbure aux flancs de la proue, que lorſque le moment total M du vaiſſeau eſt très-petit, & dans la ſuppoſition impoſſible qu'il eſt moindre que le moment particulier de la proue : l'impulſion, par exemple, que ſouffre la premiere courbe entiere, étant exprimée par 433, le moment total M de la peſanteur du navire le doit être par $144\frac{1}{3}$; au lieu que le moment particulier de la proue ſeule eſt 204. Mais ſi on employe les ſeules parties comme AR (Fig. 118.) ou RT (Fig. 119.) le moment particulier de la proue qui diminue beaucoup plus ſubitement que l'impulſion, ſe trouvera bien-tôt très-petit par rapport à cette impulſion; & il n'impliquera plus contradiction que le moment M de la peſanteur totale en ſoit le tiers. C'eſt ſans doute un cas trop extrême pour qu'il ſoit jamais admis, que le vaiſſeau ſoit réduit à la ſeule partie antérieure de ſa carene ſans avoir de poupe. Alors les momens marqués dans la table ſeroient les ſtabilités mêmes M du navire; & on reconnoîtroit donc la partie des lignes courbes qu'il faudroit employer, en choiſiſſant celles pour leſquelles ce moment eſt le tiers de l'impulſion,

pulsion. Telle est à peu près la partie de la premiere courbe qui a 936 pour abscisse & 853 pour ordonnée; telle est aussi à peu près la partie de la seconde courbe qui a 1136 pour abscisse & 493 pour ordonnée, &c. Les deux flancs se trouveroient déja n'avoir que très-peu de courbure, & l'arrête dont nous avons parlé plusieurs fois, qui doit distinguer la proue de la poupe & qui paroissoit comme détruite par la partie des lignes courbes qui est parallele en B à l'axe, commenceroit à se reproduire en R ou en T. Mais qu'on considere les vaisseaux dans leur état actuel, le moment total M du navire RTXT (Fig. 119.) sera au moins double de celui de la proue; & puisque ce moment total ne doit être toujours que le tiers de l'impulsion I, le moment particulier de la proue que marque la table, n'en sera au plus que la sixieme partie. Ainsi il faudra prendre pour modele de la partie antérieure de la carene, des portions beaucoup plus petites RT de nos lignes courbes, & qui approcheront encore plus d'être droites. Ce n'est gueres que dans la derniere courbe de la table qu'on peut chercher ces modeles, parce que les autres rendroient la proue trop obtuse; on peut emprunter, par exemple, la partie qui a son abscisse RV de 999 & sa plus grande demi-largeur VT de 234. Mais il est certain que si les flancs conservent encore après cela quelque courbure, on sera très en droit de la négliger; car elle ne sera pas de la cent cinquantieme partie de la longueur des côtés RT. Nouvelle confirmation que la figure de la proue *de la plus grande vîtesse*, ne differe toujours que très-peu de la figure *de la moindre résistance*.

Fig. 118. & 119.

VII.

C'est ce qui résulte de la solution géométrique du problême & ce qui se concilie avec le physique sur lequel nous avons insisté dans le chapitre précédent, que plus la pesanteur totale du vaisseau est grande par rapport à celle de la partie antérieure de la carene, moins il y a d'effet à atten-

dre ſur la force du navire pour porter la voile, lorſqu'on fait quelque léger renflement à cette partie, & qu'il y a donc moins d'utilité à altérer la figure qui fend l'eau avec le plus de facilité. Le renflement de la carene par l'avant, quoique léger, fait augmenter la réſiſtance & nuit immédiatement à la promptitude du ſillage : au lieu que ſi l'augmentation produite en même tems dans la ſolidité, eſt conſidérable par rapport à la proue, elle l'eſt environ deux fois moins par rapport à tout le navire; & il n'eſt outre cela encore permis d'augmenter la hauteur des voiles que d'une quantité deux fois plus petite à proportion que n'a augmenté la ſtabilité. Ainſi il n'eſt pas étonnant que la convexité des deux flancs aide moins au ſillage par ce ſecond chef qu'elle n'y nuit par l'autre, & c'eſt par cette raiſon qu'on peut toujours dans la pratique donner à la proue la figure qui fend l'eau avec le plus de facilité. Au reſte nous devons nous applaudir de n'être point obligés de renoncer à cette derniere figure. Il eſt vrai qu'il n'y auroit rien à perdre du côté du ſillage, & ce ſeroit tout le contraire ſi on ſe ſervoit de l'autre, & que la différence fût conſidérable ; mais il y auroit une vraie perte, & qui ſeroit irréparable ſur la proprieté que doit avoir le vaiſſeau de *pincer* le vent. On ſe ſouvient que l'impulſion latérale, ſelon le ſens perpendiculaire à la quille, devient néceſſairement plus petite auſſi-tôt que l'impulſion dans le ſens direct eſt plus grande ; or le navire moins ſoutenu contre l'effort du vent dans les routes obliques dériveroit alors davantage *. Qu'on donne au contraire à la proue la figure qui reçoit la moindre impulſion de la part de l'eau dans le ſens de l'axe, l'impulſion relative, ſelon la détermination latérale, deviendra un *plus grand* dans les routes obliques ; une proprieté apporte néceſſairement l'autre comme nous l'avons montré ; & la dérive deviendra un *minimum*.

* Voyez la fin du chap. 8. de la Ire. ſection de ce 3e. Livre.

Tout nous invite donc à préférer cette premiere forme dans l'Architecture navale ; non pas précíſément parce qu'elle eſt la figure *de la moindre réſiſtance*, puiſque cette proprieté eſt abſolument inutile, auſſi-tôt qu'elle ne procure

pas par elle-même la promptitude de la navigation ; mais parce qu'elle est la figure *de la moindre dérive.* Nous serons ensuite sûrs que le navire suivra le plus qu'il sera possible dans son mouvement la direction de son axe, sans que cette bonne qualité, que nous eussions achetée volontiers par la perte d'une partie considérable de la promptitude du sillage, cause quelque préjudice sensible aux autres avantage essentiels qu'on se propose dans la marine. Nous ne devons pas dissimuler que cette figure nous jette dans quelque inconvénient : elle ne nous donne pas toujours assez de champ pour disposer avec commodité les voiles dans les routes obliques ; parce qu'elle peut nous obliger de mettre ces voiles à trop peu de distance de l'extrémité de la proue ; ce qui sera cause qu'on ne pourra quelquefois profiter que difficilement de toute la force qu'a le navire pour les soutenir. On ne doit cependant pas juger de la difficulté par la forme étroite que prend ici la proue : car il n'est toujours question dans les recherches présentes que de la seule figure de la partie qui entre dans l'eau ; & rien n'empêche d'élargir considérablement la partie qui est hors de l'eau, pourvu qu'on soit attentif à en diminuer le poids, en même tems qu'on diminue le plus qu'il est possible la surface qu'elle offre au vent.

Il nous reste, pour ne rien laisser d'indécis dans la construction des navires destinés à bien marcher, de marquer la figure de la poupe. Si cette derniere partie ne contribue pas tant que celle de l'avant à la rapidité du sillage, il est cependant certain qu'elle y contribue. C'est pourquoi nous ne pouvons pas nous dispenser de l'examiner avec quelque soin, quoiqu'il ne soit pas nécessaire de nous livrer à une discussion aussi longue que la précédente.



CHAPITRE VII.

De la figure qu'il faut donner à toute la partie postérieure de la carene lorsqu'elle est terminée par un simple trait horisontal, & de la maniere de s'en servir pour former des frégates.

I.

S'IL ne s'agissoit, lorsqu'on forme la poupe, que de travailler à augmenter la facilité que doit avoir l'eau à venir frapper le gouvernail, on ne seroit point assujetti à donner à la carene du côté de l'arriere une forme trop précise ; car elles seroient presque toutes également bonnes. Mais à mesure que le navire quitte une place, l'eau qui est derriere & qui est pressée par le poids de toute celle qui est au-dessus, tend en exerçant son ressort, à passer dans cette place ; & si en donnant une certaine figure à la poupe, on peut faire ensorte que l'eau ait plus de disposition pour suivre ce mouvement ou cette tendance, il n'y a point de doute qu'on ne doive la préférer. L'eau en venant occuper avec vîtesse le vuide que le navire laisse derriere lui, peut s'y rendre avec assez de promptitude pour choquer la poupe ; & si ce choc ne contribue pas extrémement à faire augmenter la rapidité du sillage, il sert au moins toujours à détruire une partie de la résistance que souffre l'avant du navire par la rencontre de l'eau.

La poussée de l'eau, cette force dont nous nous sommes occupés si long-tems dans le livre précédent, ne travaille pas plus à faire avancer le vaisseau d'un côté que de l'autre, de l'avant que de l'arriere, pourvu que le vaisseau soit de lui-même dans un parfait repos. Mais ce ne doit plus être la même chose aussi-tôt que le navire se meut ; la poussée cesse en partie du côté de l'arriere, puisque le

navire en fuyant, pour ainsi dire, se soustrait à l'action de l'eau qui s'appuyoit contre sa poupe, au lieu que c'est tout le contraire du côté de l'avant ; car la poussée de l'eau à laquelle est sujette la partie antérieure, doit se joindre au choc même de l'eau, qui naît du mouvement du sillage. Il est donc évident que si on ne veut pas regarder toute la poussée de l'eau du côté de la proue comme un obstacle à la vîtesse du navire, il faut faire ensorte que l'action de l'eau sur la poupe soit un *maximum*, afin qu'elle tienne lieu le plus qu'il se pourra de la poussée même qu'éprouvoit la poupe, lorsque le navire étoit dans un parfait repos. Il seroit facile de se jetter ici dans une physique très-contestable ; le sujet est tel qu'il demanderoit, comme on l'a dit au commencement de ce troisieme livre, à être éclairci par des expériences faites avec autant d'adresse que de soin, afin de décomposer, pour ainsi dire, la difficulté & d'examiner chaque circonstance à part. Cependant on peut assurer que si la carene étoit terminée par un seul trait horisontal, il suffiroit toujours de la former du côté de la poupe par des lignes droites ; & cela indépendamment de la loi selon laquelle se fait l'action de l'eau.

II.

Il est facile de reconnoître cette proprieté de la ligne droite qui reparoît encore ici, & qui peut donc servir à former la poupe, comme on a vu ci-devant qu'elle pouvoit former la proue. C'est ce qu'on va découvrir par une suite de reflexions qui peuvent servir dans une infinité d'autres rencontres, & par le moyen desquelles on résoudra quelquefois sans peine & d'une premiere vue plusieurs problêmes qui paroîtroient d'ailleurs très-difficiles. Imaginons-nous que TXT (Fig. 119.) est la poupe dont VX est l'axe, & X l'extrémité, & représentons par la parallele Yy à l'axe la vîtesse du navire, ou celle avec laquelle la poupe en avançant de x vers X, & de y vers Y &c. se soustrait à l'action de l'eau qui est derriere.

Fig. 119.

Fig. 119. On voit assez qu'il se fait une décomposition de cette vîtesse ; & si on forme par des paralleles & des perpendiculaires à la partie Yd du circuit de la poupe, le rectangle $ZYWy$ qui ait la vîtesse absolue Yy pour diagonale, il est clair que quoique la poupe se meuve de la quantité Xx ou yY, la petite partie Yd n'évite l'action de l'eau qu'avec la seule partie de vîtesse YZ ou Wy, qui est plus ou moins grande selon que la partie Yd est située plus ou moins obliquement. Tous les pointsde la poupe qui passent de txy en TXY, parcourent des lignes paralleles xX, yY &c. mais l'eau comprimée avec force dans tous les sens, chargée qu'elle est par le poids de celle qui est audessus, doit, pour aller remplir le vuide de $TtxtTX$, avancer tout-à-coup du côté que la compression cesse ou diminue. Ainsi elle ne doit pas avancer selon yY pour aller frapper la poupe en Y, mais selon ZY ; & pour sçavoir par conséquent la vîtesse relative avec laquelle se fait le choc, il suffit de retrancher de la vîtesse absolue que la compression procure à l'eau, la partie ZY que le sillage rend inutile. La situation oblique de la partie Yd est de cette sorte extrémement avantageuse ; elle est cause que la rapidité de la marche ne fait pas diminuer d'une si grande quantité la vîtesse avec laquelle l'eau vient choquer la poupe : au lieu que si la partie Yd étoit placée en $Y\Delta$, ou que la poupe fût terminée par une droite perpendiculaire à l'axe VX, toute la vîtesse yY du navire seroit à retrancher de celle de l'eau, qu'elle absorberoit, peut-être, entiere ; & il arriveroit que l'eau ne choquant du tout point la poupe, n'aideroit en rien.

Puisque le triangle YWy est semblable au petit $Y\Delta d$, on peut faire cette proportion, $Yd \mid Y\Delta \parallel yY \mid Wy$; & si on nomme b la vîtesse yY du navire, on aura par conséquent $\frac{Y\Delta}{Yd} \times b$ pour la vîtesse partiale Wy qu'il faut soustraire de la vîtesse absolue de l'eau. A l'égard de cette autre vîtesse, elle dépend de la compression que cause le poids de l'eau supérieure ; elle doit être la même pour toutes les molé-

cules qui sont à une égale profondeur, & on peut donc l'exprimer par une constante c dans le cas que nous examinons actuellement. C'est-à-dire, que la vîtesse relative avec laquelle l'eau frappe la petite partie Yd est exprimée par $c - \frac{Y\Delta}{Yd} \times b$, qui n'est dépendante, comme on le voit, que des quantités constantes c & b, & de la seule disposition de la petite ligne Yd. Ainsi qu'on s'arrête à cette vîtesse, ou qu'on en prenne le quarré ou le cube, ou une fonction quelconque, & qu'on multiplie ensuite par YΔ pour avoir la force de l'impulsion relative, qui s'exerçant dans le sens parallele à l'axe, contribue à la rapidité du sillage, en poussant le navire vers l'avant, il ne résultera toujours qu'une quantité formée des constantes c & b, & des petites lignes élementaires Yd & YΔ.

Fig. 119.

L'impulsion sera exactement la même, quoiqu'on éloigne ou qu'on rapproche la petite partie Yd de l'axe VX, & quoiqu'on fasse la même chose à l'égard du sommet X: de sorte que les abscisses x & les ordonnées y ne sont ici d'aucune considération; il n'y a que les seules dx & dy qui modifient actuellement la grandeur de l'effort. Or ce sera la même chose, lorsqu'on considerera une autre partie voisine de Yd; & il est donc clair, que si on prend la différentielle de l'impulsion qu'elles reçoivent conjointement, afin d'en faire un *maximum*, on n'aura toujours qu'une quantité formée des deux constantes c & b & des petites lignes élementaires dx & dy, élevées, il n'importe, à quelle puissance, sans le concours d'aucune variable x ou y. Mais il suit de là, que la différentielle égalée à zéro, nous offrira une équation dans laquelle les dx & les dy n'auront toujours entr'elles qu'un rapport déterminé & invariable. C'est-à-dire que les dy ou les petites lignes YΔ étant constantes, les dx ou les Δd le seront également. Les deux lignes TX ont par conséquent dans toutes leurs parties ou dans tous leur cours la même obliquité par rapport à l'axe VX; & elles sont donc droites, sans que les diverses loix que les fluides peuvent observer dans leur action, y apportent aucune différence.

III.

Mais quoique les deux côtés de la poupe doivent être toujours des lignes droites, ce n'est pas à dire pour cela qu'elles doivent se rencontrer en X, & y former un angle : car il peut arriver ici à peu près la même chose que pour la proue lorsqu'elle est formée de lignes droites, dont les deux côtés, comme nous l'avons vu dans le premier chapitre, ne se rencontrent pas toujours. Supposons que la poupe soit représentée par BE*eb* dans la figure 101 ou dans la figure 102 : ses deux côtés, qui doivent être des lignes droites, comme nous le sçavons maintenant, sont représentés par BE & *be* ; & pendant qu'elle a AC pour longueur totale ou pour axe, elle est terminée par une troisieme ligne E*e* perpendiculaire. Il s'agit de décider, si on doit augmenter ou diminuer cette largeur E*e*, ou si on doit la réduire à rien, en rendant la poupe parfaitement aigue.

Fig. 101 & 102.

J'exprime par la ligne DB la vîtesse absolue du navire que nous avons désignée ci-devant par b, & je remarque que la perpendiculaire DF au côté BE de la poupe, sera la partie qu'il faudra retrancher de la vîtesse absolue c avec laquelle l'eau vient rencontrer ce côté. Or si on nomme a la plus grande demi largeur CD, & s la quantité DE, dont la poupe, ou plutôt la demi-poupe est plus étroite à l'extrémité, on aura cette analogie, BE $(=\sqrt{b^2+s^2})$ | DE $(=s)$ | DB $(=b)$ | DF $=\frac{bs}{\sqrt{b^2+s^2}}$, & si on retranche DF de la vîtesse absolue c de l'eau, il viendra $c-\frac{bs}{\sqrt{b^2+s^2}}$ pour la vîtesse avec laquelle elle rencontre effectivement le flanc BE. On employera, selon le systême qu'on voudra embrasser, ou le quarré de cette vîtesse, ou cette vîtesse même, ainsi que nous l'allons faire ; & si au lieu de multiplier par BE, ce qui donneroit l'impulsion absolue selon la perpendiculaire à ce côté, on ne multiplie que par DE $=s$, on aura l'impulsion relative, qui agissant dans le sens de

de l'axe, pouffe le navire vers l'avant. Cette impulfion eft $cs - \frac{bs^2}{\sqrt{b^2+s^2}}$ qu'il faut augmenter de celle que fouffre EC, afin d'avoir l'impulfion totale que fouffre la moitié entiere de la poupe. Il ne fe fait, à l'égard de cette feconde partie, aucune décompofition; l'eau avance avec la vîteffe abfolue c, & le navire fuit avec la vîteffe abfolue b; l'excès $c - b$ marque la vîteffe avec laquelle l'eau frappe le côté EC dont la longueur eft $a - s$; & par conféquent l'impulfion eft $\overline{c-b} \times \overline{a-s}$. Ajoutant enfin cette quantité avec l'autre, il vient $ac - ab + bs - \frac{bs^2}{\sqrt{b^2+s^2}}$ pour l'impulfion totale dans le fens de l'axe, laquelle il n'eft plus queftion que de rendre un *maximum*.

Fig. 101 & 102.

La différentielle de cette impulfion eft $bds - \frac{2bsds}{\sqrt{b^2+s^2}} + \frac{bs^3ds}{\overline{b^2+s^2}^{\frac{3}{2}}}$; & fi on l'égale à zero & qu'on faffe les réductions néceffaires, on aura $2b^2s + s^3 = \overline{b^2+s^2}^{\frac{3}{2}}$, & $s^4 + b^2s^2 = b^4$ dont on tire $s = b\sqrt{-\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{5}{4}}}$; ce qui montre que s ou DE ne dépend point de la largeur de la poupe, mais feulement de fa longueur BD. Suppofant cette derniére longueur de 1000 parties, on trouvera que DE eft d'environ 786, qui rend l'angle DBE d'environ 38 degrés 10′, & l'angle que doivent faire les deux côtés BE, *be*, doit donc être d'environ 76 degrés 20′. Au refte ce problême de la poupe qui reçoit la plus grande impulfion poffible par le reflux de l'eau, a encore cette conformité avec celui de la proue rectiligne de la moindre réfiftance, que l'angle de 76 degrés 20′ n'eft auffi ici qu'un terme, de la même maniere que l'angle droit en étoit un dans l'autre. Si on examine les cas où la différentielle va en augmentant & en diminuant, on verra que la poupe ne fçauroit être trop aigue, & que les deux côtés BE & *be* doivent fe rencontrer, pourvû qu'ils faffe en c un angle moindre que 76 degrés 20′. Suppofé au contraire que la poupe foit

trop courte, & que les deux côtés en se rencontrant fassent un angle plus ouvert, il faudra alors s'arrêter à l'angle déterminé, & achever de fermer la poupe par un troisieme côté *Ee* placé perpendiculairement à l'axe.

Fig. 101 & 102.

IV.

Il est clair que la solution précédente doit convenir à toutes les coupes horisontales de la poupe faites à une assez grande profondeur pour que la vîtesse absolue *c* de l'eau surpasse celle *b* du navire. La vîtesse *c* est sensiblement proportionnelle aux racines quarrées des profondeurs, comme on l'apprend en Hydrostatique; elle est à peu près la même que celle qu'acquereroit l'eau en tombant d'une hauteur égale à cette profondeur. Ainsi à 13 ou 14 pieds d'enfoncement, elle a une vîtesse *c* propre à parcourir 27 ou 28 pieds en une seconde; elle a une vîtesse double de celle du navire, lorsqu'il fait environ trois lieues par heure & à proportion 14 pieds par seconde. Il faut donc s'approcher considérablement de la surface de l'eau & s'arrêter seulement à trois pieds ou trois pieds & demi de profondeur, pour trouver l'endroit où l'eau n'atteint qu'à peine la poupe, & ne la frappe effectivement par derriere que lorsque l'obliquité des parties facilite le choc. Dans cet endroit l'eau ne poursuit le navire qu'avec une vîtesse de 14 pieds, à peu près égale à la sienne. Notre solution convient encore à ce cas, en même tems quelle convient à toutes les tranches horisontales de la poupe qu'on peut imaginer au-dessous, il n'importe de quelle quantité; mais il est évident qu'elle n'est point applicable aux endroits qui sont au-dessus, ou qui sont entre la surface de l'eau & trois pieds de profondeur, puisque l'eau n'a plus assez de vîtesse pour atteindre les parties de la poupe qui sont situées perpendiculairement. Au moins lorsque le navire single avec la plus grande vîtesse que nous lui attribuons, le vaisseau laisse en haut derriere lui un vuide qui ne se remplit qu'avec peine; & il faut par conséquent dans l'expression $ac - ab$

Fig. 101 & 102.

$+ bs - \frac{bs^2}{\sqrt{b^2+s^2}}$ de l'impulſion que ſouffre la poupe, retrancher toute la quantité $\overline{c-b} \times \overline{a-s}$ que nous avions jointe pour l'impulſion que recevoit le côté CE : il faut, en un mot, ne conſiderer que l'impulſion $cs - \frac{bs^2}{\sqrt{b^2+s^2}}$ à laquelle eſt ſujet le ſeul flanc BE. Il peut ſembler que l'autre expreſſion eſt aſſez générale pour s'appliquer à tous les cas ; mais la plus grande généralité dont elle jouit, n'a lieu que dans le pur géométrique, ſans s'étendre réellement juſqu'au cas phyſique. Car l'eau qui a moins de vîteſſe que le navire ne peut pas venir frapper effectivement le côté CE dans le ſens contraire avec la différence de vîteſſe $b - c$.

Enfin ſi on prend la différentielle de $cs - \frac{bs^2}{\sqrt{b^2+s^2}}$, on trouvera $cds - \frac{2bsds}{\sqrt{b^2+s^2}} + \frac{bs^3ds}{\overline{b^2+s^2}^{\frac{3}{2}}}$, & l'égalant à zero, il viendra $c \times \overline{b^2+s^2}^{\frac{3}{2}} = 2b^3s + bs^3$ qui ſatisfait donc au ſecond cas du problême ; c'eſt-à-dire, que cette équation indique la ſituation la plus avantageuſe qu'il faut donner aux deux flancs BE & *be*, lorſque l'eau n'a pas aſſez de vîteſſe pour atteindre le côté E*e*.

Mais on doit remarquer qu'au lieu que la quantité s ou DE ne dépendoit que de la ſeule longueur b de la poupe, elle dépend maintenant & de cette longueur & de la vîteſſe abſolue c de l'eau, ou du rapport qu'elle a avec celle du navire. A meſure que c eſt moindre, la quantité s ou DE eſt plus petite ; & elle devient nulle, lorſque c ſe réduit à rien. Ainſi la poupe, qui doit ſe terminer en pointe dans les coupes horiſontales qui ſont au-deſſous de trois pieds de profondeur, perdroit cette figure au-deſſus de ce point : ſi l'on pouvoit toujours la ſuppoſer formée de coupes horiſontales comme BE *eb*, elle iroit en s'élargiſſant & finiroit à fleur d'eau par une coupe rectangulaire, ou ce qui revient au même, elle auroit ſes deux flancs exactement paralleles.

Fig. 101. & 102.

Le point qui fait la distinction des deux cas, change de hauteur selon que la vîtesse du navire est plus ou moins grande; plus le sillage est lent, plus ce point se trouve élevé, puisqu'il est plus facile à l'eau d'atteindre la poupe. Lorsque le navire ne fait qu'une lieue & demie par heure ou environ 7 pieds par seconde, l'eau qui n'étoit auparavant suffisamment comprimée qu'à 3 pieds de profondeur, commencera à l'être assez vers 9 ou 10 pouces, pour pouvoir agir efficacement. Il faudroit donc alors que la poupe eût presque par-tout la même figure; qu'elle fût formée depuis le bas jusqu'en haut par deux plans verticaux, qui en se rencontrant à l'étambot, fissent un angle qui ne surpassât pas 76 degrés 20 minutes, & que ce ne fût qu'à environ 9 pouces de distance de la surface de la mer, qu'elle s'élargît tout-à-coup, jusqu'à devenir aussi large que l'est le navire vers le milieu. Ce changement de figure est après tout de peu de conséquence à l'égard de l'impulsion, vu l'extrême lenteur avec laquelle l'eau trop peu comprimée vers sa surface, poursuit le navire. Mais il est très-digne d'attention, qu'en ne voulant procurer à la partie postérieure de la carene que l'unique proprieté d'être poussée par le reflux de l'eau le plus qu'il est possible, on trouve précisément la figure qui ayant le plus de largeur par en haut, fait aussi que le navire a le plus de force pour porter la voile.

V.

Si on veut que la poupe qui souffre le plus grand choc par le reflux de l'eau, ne soit pas plus large par en haut que par en bas; & qu'on joigne en même tems la condition que le navire ait le plus de force qu'il est possible pour porter la voile, il faudra alors courber ses deux flancs & leur donner quelque convexité. Nommant, comme nous l'avons déja fait, M le moment total du vaisseau par rapport à son métacentre, & N la force du vent pour faire accelerer le sillage, y compris l'effort total que fait l'eau sur la poupe, lequel contribue au même effet, & que b soit toujours la vîtesse du navire, on trouvera, en suivant à-peu-

près la méthode dont nous avons fait usage dans le chapitre précédent & en prenant e pour la plus grande ordonnée de la poupe, & a pour une arbitraire constante, pendant que u est une variable qui conserve avec a le même rapport que les soutangentes avec les ordonnées, ou que les dx avec les dy, on trouvera, dis-je, que les ordonnées y de la courbe la plus simple qui satisfait à la question sont exprimées par $\sqrt[3]{\frac{6M}{N} \times \frac{e \times \overline{a^2 + u^2}^{\frac{3}{2}} - a^2 bu}{\overline{a^2 + u^2}^{\frac{1}{2}}}}$, & les abscisses x par $\sqrt[3]{\frac{6M}{N}} \times \int \frac{\frac{2}{3} abu^3 du - \frac{1}{3} a^3 budu}{\overline{e \times \overline{a^2 + u^2}^{\frac{3}{2}} - a^2 bu}^{\frac{2}{3}} \times \overline{a^2 + u^2}^{\frac{1}{2}}}$. Mais tout invite à ne nous point engager dans le calcul numérique des dimensions de cette nouvelle courbe. Nous croyons cette seconde solution fort inférieure à la premiere, parce que pour se prêter à l'une & à l'autre condition, il arrive qu'on renonce par en bas à la figure qui reçoit absolument le plus d'impulsion de la part de l'eau, & que cependant on n'obtient pas celle qui par en haut donne autant de force au navire pour soutenir la voile. D'ailleurs il se présente un autre inconvenient auquel il n'y a point de remede. Au lieu que la variabilité des vitesses b dont le sillage est susceptible n'exigeoit auparavant qu'un leger changement qu'on pouvoit négliger dans la figure de la poupe, parce qu'il n'étoit nécessaire que vers le haut, elle demanderoit ici une chose absolument impossible; que la poupe fût totalement & continuellement changée depuis le haut jusqu'au bas : la forme qu'on doit lui donner pour le cas où le sillage est foible, étant très-éloignée de convenir au cas dans lequel le sillage est rapide.

Fig. 101 & 102.

VI.

Ainsi nous avons de fortes raisons pour revenir à la poupe angulaire formée de deux plans verticaux. On joindra, comme nous l'avons dit, cette poupe avec la proue de la même espece dont il a été question dans le premier

chapitre de cette section, & on en formera une frégate d'une figure fort extraordinaire, mais qui ne laissera pas d'avoir ses avantages. Outre qu'elle sera très-facile à construire, elle sera sujette à très-peu de dérive dans les routes obliques, & de plus elle sera très-propre à naviger dans toutes les Mers. Elle ne sera pas exposée à l'inconvenient qui est si fort à craindre, lorsqu'on rend le dessous de la carene trop fin vers l'avant & vers l'arriere : car si les deux extrémités sont fort aigues, elles occuperont cependant toujours assez de place dans la Mer, eu égard à leur peu de poids ; elles ne se trouveront jamais en l'air ; ce qui diminuera la force du tangage. Cette frégate ou cette corvette seroit préférable en cela à celle qu'on pourroit former en joignant la proue représentée dans la figure 104 avec une poupe convenable ou correspondante ; mais on seroit presque autant gêné dans l'une que dans l'autre, lorsqu'il s'agiroit de disposer la mâture.

CHAPITRE VIII.

Suite du chapitre précédent ; examen de la figure qu'il faut donner à la poupe lorsqu'elle est un conoïde ; & de la maniere d'en former une frégate.

I.

IL ne sera pas difficile de déterminer la figure que doit avoir la poupe lorsqu'elle sera un conoïde. Si BADE (Fig 120.) est ce conoïde dont x désigne les parties de l'axe & y les ordonnées, & que ϵI parallele à l'axe AC représente la vîtesse b du vaisseau ; on aura, en formant le rectangle ϵLIK par des paralleles & des perpendiculaires à la surface du conoïde, la quantité ϵL pour la vîtesse avec laquelle chaque petite partie comme $\iota\epsilon$ de la surface de la poupe se soustrait à la poursuite de l'eau, lorsqu'elle vient par son reflux remplir le vuide que laisse le navire derriere lui

par son progrès en avant. Le triangle KϵI est semblable au petit ϵMe qui est formé par les différentielles dx & dy & par la particule ϵe la courbe génératrice du conoïde, ce qui donne cette analogie, ϵe ($=\sqrt{dx^2+dy^2}$) | ϵM ($=dy$) || ϵI ($=b$) | KI $=\frac{bdy}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$; & c'est donc $\frac{bdy}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$ qu'il faut soustraire de la vîtesse absolue de l'eau. Nous avons déja dit que cette derniere vîtesse, qui est d'autant plus grande que l'eau supérieure cause par son grand poids plus de compression, est proportionnelle aux racines quarrées des profondeurs. Ainsi nommant z ces profondeurs, on aura $\sqrt{z}-\frac{bdy}{\sqrt{dx^2+dy}}$ pour la vîtesse restante avec laquelle l'eau peut choquer chaque partie de la poupe. Elle choque avec cette vîtesse le point E, supposé que z désigne CE; & le point G, supposé que z marque la profondeur GH. &c.

Fig. 120.

II.

Il suit de-là que toutes les parties d'une zone Bb E Dd sont choquées avec différentes vîtesses $\sqrt{z}-\frac{bdy}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$, à cause de leurs diverses profondeurs, quoique la portion retranchée $\frac{bdy}{\sqrt{dx^2+dy^2}}$ soit exactement la même; parce que chaque zone étant formée par la révolution d'un petit arc de la courbe génératrice, toutes ses parties ont la même obliquité, ce qui produit, à l'égard de chaque zone, la même décomposition dans toutes les vîtesses, comme Iϵ. Si nous nommons maintenant ds les parties élementaires F G de chaque demie circonférence BED dont y marque le rayon, nous aurons $ds\times\sqrt{dx^2+dy^2}$ ($=$ F G $\times$ Ff) pour l'étendue de chaque petite partie FfgG de zone; mais comme ce n'est pas de l'impulsion absolue dont il s'agit ici, mais seulement de l'impulsion relative qui s'exerce dans le sens de l'axe, il faut, conformement

Fig. 120. à ce que nous avons vu ci-devant, réduire ce petit trapeze Fg à sa projection FOPG sur le plan vertical BED, & nous aurons $dsdy$ pour l'étendue de cette petite projection qu'il faut multiplier, ou par la vîtesse $\sqrt{z - \frac{bdy}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}}$ ou par son quarré, selon la différente hypothese qu'on voudra suivre. La seconde hypothese ne peut avoir que difficilement son application ici, & d'ailleurs la premiere rend le problême beaucoup plus simple. Ainsi nous multiplions $\sqrt{z - \frac{bdy}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}}$ par $dsdy$, & nous aurons $\sqrt{z} \times dsdy - \frac{bdsdy^2}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}$ pour l'impulsion relative que reçoit selon son axe la petite partie F g de la surface de la poupe, lorsque le navire fuit ou avance avec la vîtesse b. En intégrant cette expression, pour avoir l'impulsion sur la zone entiere bEd, il faut remarquer qu'il n'y a que z & ds de variables; puisque dy & dx ne sont sujettes à changer que lorsqu'on passe d'une zone à l'autre. Nous aurons donc $dy \times \int \sqrt{z \times ds - \frac{bsdy^2}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}}$ pour l'impulsion relative sur la zone bEd; impulsion qui se changera en $dy \times \int \sqrt{z \times ds - \frac{\pi bydy^2}{\delta \sqrt{dx^2 + dy^2}}}$ si prenant δ & π pour exprimer le rapport du diametre du cercle à la circonférence, nous faisons attention que $\frac{\pi y}{\delta}$ doit désigner la demie circonférence BED dont CE $= y$ est le rayon.

III.

Il n'est jamais permis dans ces sortes de Problêmes, comme on le sçait, de se borner à la considération d'une seule zone. Si on vouloit qu'une seule souffrit la plus grande impulsion possible en l'assujettissant toujours à dy ou Me constante, & ne faisant varier que M$e = dx$, il faudroit augmenter Me de plus en plus, jusqu'à la rendre infinie; ce qui donneroit à la zone une forme exactement cilindrique,

drique. Alors elle retrancheroit par sa situation le moins qu'il seroit possible de la vîtesse absolue $\sqrt{z}$ de l'eau. Mais aussi-tôt qu'on prend deux zones à côté l'une de l'autre qui doivent, jointes ensemble, avoir une certaine largeur déterminée, en augmentant la largeur de l'une au préjudice de l'autre; on peut en faisant augmenter dx qui appartient à l'une, en même tems qu'on fera subir un égal changement ddx, mais contraire, à dx qui appartient à l'autre, faire ensorte que dans les cas actuels mêmes les deux zones jointes ensemble reçoivent la plus grande impulsion possible; & il suffira pour cela de rendre nulle la différentielle de toute l'impulsion. Si nous supposons enfin que dx augmente de ddx, nous aurons $\frac{\pi b y dy^2 dx ddx}{\delta \times \overline{dx^2 + dy^2}^{\frac{3}{2}}}$ pour la différentielle de l'impulsion $\overline{dy \int \sqrt{z} \times ds - \frac{\pi b y dy^2}{\delta \sqrt{dx^2 + dy^2}}}$ que souf- la premiere zone: mais la même différentielle sera négative dans la zone suivante, à cause de la diversité de modification que souffre ddx, qui de positive, par rapport à la premiere zone, devient négative par rapport à l'autre. Mais puisque la différentielle de l'impulsion à laquelle sont sujettes les deux zones ensemble, doit être nulle, & que cet anéantissement ne vient que de ce que les deux différentielles particulieres se détruisent mutuellement, il faut que ces différentielles soient égales. Elles le seront encore étant divisées également par ddx & par $\frac{\pi b}{\delta}$; & comme c'est la même chose pour toutes les autres zones, la quantité $\frac{y dy^2 dx}{\overline{dx^2 + dy^2}^{\frac{3}{2}}}$ doit donc être continuellement constante, & on peut l'égaler à une quantité a; ce qui nous donnera $y dy^2 dx = a \times \overline{dx^2 + dy^2}^{\frac{3}{2}}$ ou $y^2 dy^4 dx^2 = a^2 dx^6 + 3a^2 dx^4 dy^2 + 3a^2 dx^2 dy^4 + a^2 dy^6$ pour l'équation de la courbe qui satisfait au Problême.

I V.

Il suffit pour résoudre cette équation de prendre comme ci-devant, une nouvelle indéterminée u, en la supposant telle que $dx = \frac{udy}{a}$; & on verra sans peine en faisant le reste du calcul, que la formule $\sqrt{\frac{u^4}{a^2} + 3u^2 + 3a^2 + \frac{a^4}{u^2}}$ exprime y, dont la moindre valeur est $\frac{3\sqrt{3}}{2} a$, qui répond à $u = a\sqrt{\frac{1}{2}}$; & que $x = \int \frac{2u^6 du + 3a^2 u^4 du - a^6 du}{\sqrt{a^4u^8 + 3a^6 u^6 + 3a^8 u^4 + a^{10}u^2}} =$ $\int \frac{2u^5 du}{a^2 \times \overline{a^2 + u^2}^{\frac{1}{2}}} + \int \frac{3u^3 du}{\overline{a^2 + u^2}^{\frac{1}{2}}} - \int \frac{a^4 du}{u \times \overline{a^2 + u^2}^{\frac{1}{2}}}$. La courbe que fournissent ces formules est encore assez droite; elle dépend des logarithmes ou de la quadrature de l'hyperbole, & elle devient une seconde parabole cubique lorsqu'on la prolonge infiniment : de sorte qu'au lieu de devenir parallele à l'axe, elle s'en éloigne continuellement ; & lorsqu'on joindra donc le conoïde qu'elle formera avec le conoïde de la proue, les deux conoïdes n'en seront que plus distingués. Je mets ici une Table par le moyen de laquelle il sera toujours facile de tracer cette courbe dans son commencement ou dans la partie où elle doit avoir le plus de courbure ; & on pourra ensuite, si on le veut, la tracer sensiblement droite, ou suivre la seconde parabole cubique. Enfin si on se souvient que l'impulsion de l'eau vers le haut de la poupe est très-foible dans une espace de 2 ou 3 pieds, on jugera assez qu'il n'y a point d'inconvenient à alterer dans cet endroit la figure qu'on vient de trouver : & il n'y aura par conséquent que de l'avantage à élargir la partie postérieure de la carene vers la surface de l'eau, afin que le navire porte mieux la voile, & afin de procurer aussi plus d'étendue aux logemens des Officiers, qu'on met ordinairement vers la poupe.

TABLE

Des dimenſions de la poupe conoïdale qui contribue le plus qu'il eſt poſſible au ſillage par l'impulſion qu'elle reçoit du reflux de l'eau.

Abſciſſes ou parties de l'axe de la poupe.	Ordonnées ou demies largeurs.	Abſciſſes ou parties de l'axe de la poupe.	Ordonnées ou demies largeurs.	Abſciſſes ou parties de l'axe de la poupe.	Ordonnées ou demies largeurs.	Abſciſſes ou parties de l'axe de la poupe.	Ordonnées ou demies largeurs.
0	260	315	485	1538	996	4487	1831
2	262	382	521	1709	1054	4832	1914
9	271	456	559	1893	1114	5188	1998
21	283	519	600	2089	1177	5564	2084
37	299	630	642	2301	1242	5964	2174
59	317	729	686	2525	1309	6381	2265
86	339	838	732	2762	1378	6811	2358
119	364	957	781	3013	1449	7265	2454
159	390	1086	831	3278	1522	7738	2551
204	420	1225	884	3556	1596	8234	2651
256	451	1375	939	3849	1672	8750	2754
				4158	1750		

V.

Il n'y aura aucun inconvenient à joindre la poupe dont la forme eſt indiquée par cette Table avec la proue dont nous avons parlé à la fin du Chapitre II, qui n'enfonce qu'en partie dans l'eau. Mais au lieu de rendre circulaires les coupes faites perpendiculairement à ſa longueur, on les rend des triangles, ainſi qu'il ſeroit à propos de le faire dans les corvettes & ſouvent dans les frégates. La Table marquera exactement la courbure qu'il faudra donner au conoïde triangulaire de la poupe, lequel doit ſe joindre avec la proue triangulaire que nous avons décrite dans l'article I. du Chapitre IV, & qui eſt repréſentée dans la figure 110. Il n'eſt pas douteux qu'on ne forme de cette ſorte des frégates, qui munies d'une voilure extrêment legere, ſingleront avec la plus grande vîteſſe dans la route direc-

te, & qui auront outre cela la proprieté en marchant très-vîte dans les routes obliques, de dériver le moins qu'il est possible. Il faut encore ajouter qu'on commencera dans ces frégates à trouver de la facilité à disposer leur mâture : on ne sera pas obligé de la porter si près de l'extrémité de la carene qui devient un peu plus large vers l'avant. D'ailleurs comme la proue va ici en s'ouvrant vers le haut, il sera plus aisé de donner toute la largeur suffisante à sa partie qui est toujours au-dessus de la mer, & qui n'est pas déterminée par notre solution.

CHAPITRE IX.

De la forme que doivent avoir les navires de transport & les navires de guerre, & d'une derniere forme pour les frégates.

IL n'a point été question de la grandeur de la cale ou de la quantité de la charge qu'elle pouvoit contenir, lorsque nous avons travaillé dans les chapitres précédens à former toutes les parties de la carene. Ainsi il y a lieu de croire que les vaisseaux que nous sommes actuellement en état de construire ne seroient que de peu d'utilité pour le commerce ou pour la guerre, qui demandent encore plus des bâtimens d'un grand port que des navires qui marchent vîte. Il nous faut donc tâcher de satisfaire à cette nouvelle vue. Nous ne nous sommes permis dans les recherches précédentes de grossir la carene, que dans le dessein de conférer plus de rapidité à la marche; mais nous devons desormais pousser le renflement de cette partie encore plus loin ; pourvu que nous réussissions à donner plus de capacité à la cale, ou à faire augmenter la quantité de la charge dans un plus grand rapport que nous ne ferons diminuer la promptitude du sillage. Pour le dire, en un mot, c'est la solidité de la carene multipliée par la vî-

teſſe que nous devons rendre la plus grande qu'il eſt poſſible. Ce ne ſera ni la quantité de la maſſe tranſportée, qui ſera un *maximum*, ni la ſimple vîteſſe de tranſport; mais ce ſera le produit de l'une par l'autre, ou la quantité même du mouvement, lequel dépend, comme le ſçavent tous les Phyſiciens, de la maſſe du corps mû & de ſa vîteſſe. Il eſt clair que ſi nous réuſſiſſons à réſoudre ce nouveau problême, le navire dans un tems donné, tranſportera enſuite la plus grande quantité de marchandiſes à la plus grande diſtance, ou qu'il ſinglera avec la plus grande vîteſſe poſſible, eu égard à la grandeur de ſa charge. On peut remarquer que c'eſt préciſément le même problême, que s'il s'agiſſoit de trouver la figure qui rend le ſillage le plus rapide, lorſque la ſolidité de la carene eſt donnée.

I.

Premiere ſolution, pour le cas dans lequel la proue eſt formée par deux plans verticaux qui ſont un angle.

Suppoſons que le parallelipipede rectangle EFIH (Fig. 121.) ſoit formé des plus grandes dimenſions qu'on peut donner au navire qui aura pour le propre corps de ſa carene une partie NPQL de ce parallelipipede : cette partie ſéparera la poupe de la proue qui ne viendront pas ſe joindre immédiatement vers le milieu de la carene comme dans les navires deſtinés à ſingler avec la plus grande vîteſſe; l'avant & l'arriere ſeront formés l'un & l'autre par deux plans verticaux qui feront un angle, en ſe terminant aux arrêtes verticales AR & BS. Nous pouvons former ainſi la proue par la rencontre de deux plans; puiſque nous ſçavons que cette figure éprouve la moindre réſiſtance de la part des fluides, & qu'elle eſt outre cela ſenſiblement une des plus avantageuſes, ou qu'elle ne differe que très-peu d'une des figures de *la plus grande vîteſſe*. Le milieu C de la partie OL la plus groſſe de la carene ſera toujours, ſi on le veut, plus avancé vers la proue A, & rien n'empêchera

Fig. 121.

Fig. 121.

qu'il n'y ait entre AC & CB le rapport de 5 à 7 que nous avons trouvé le plus convenable. On fera TC & CV égales : la carene conſervera ſa même groſſeur ſur toute la longueur TV aux extrémités de laquelle elle commencera à ſe retrecir. Ainſi toute la queſtion ſe réduira à déterminer le point T, qui eſt comme le commencement de la proue.

Je nomme a la partie AC de la longueur du navire du côté de l'avant ; b l'autre partie CB ; c la demie largeur TO ou VM, de même que la profondeur AR ou BS, que je ſuppoſe égale à la plus grande demie largeur ; enfin je déſigne par x la longueur AT que doit avoir la proue, & qu'il s'agit de découvrir. Cela ſuppoſé, on aura $a-x$ pour la demie longueur TC ou VC du corps de la carene, ou de ce ſolide que nous introduiſons entre la poupe & la proue, & $b-a+x$ ($=$ CB $-$ CV) pour la longueur VB de la poupe. L'étendue de l'exagone irrégulier ANLBMO ſera exprimée en même tems par $3ac+bc-2cx$, qui eſt la ſomme du rectangle NM $=4ac-4cx$, & des deux triangles NAO & MBL, dont l'un eſt égal à cx, & l'autre à $bc-ac+cx$; & multipliant cette étendue par la profondeur c de la carene, il viendra $3ac^2+bc^2-2c^2x$ pour ſa ſolidité.

Si l'on applique au même éxagone ANLBMO la formule $\frac{2}{3}\int\frac{y^3dx}{p}$ qui indique la quantité dont le métacentre eſt au-deſſus du centre de gravité même du navire, on aura $\frac{\overline{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x}\times c^3}{p}$ pour cette hauteur dont une partie plus ou moins grande, ſelon que le Navire eſt plus ou moins incliné, ſert comme de bras de lévier à la peſanteur totale p. On a réduit dans la ſection précédente cette hauteur à ſa ſixiéme partie, pour en former le levier, & ſi on multiplie cette partie par la peſanteur p il viendra $\overline{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x}\times\frac{1}{6}c^3$ pour le moment de cette peſanteur, ou pour la force relative qu'a le navire pour ſoutenir la voile ; & il ne reſtera plus pour l'évaluer en meſures ordinaires qu'à ſuppo-

ser que a, b & c sont en pieds de Roi & multiplier la quantité précédente par 72 livres qui est le poids du pied cubique d'eau de mer, & on aura $\overline{\frac{7}{6}a + \frac{1}{6}b - x} \times 12c^3$ pour la valeur du moment ou de la stabilité en livres. Fig. 121.

C'est ce moment ou cette force relative, comme le sçavent les Lecteurs, qui s'oppose à l'effort que fait la voile pour faire verser le navire. Nous nommerons l la largeur des voiles, h leur hauteur exprimée en pieds de Roi, & i l'impulsion que fait le vent sur chaque pied quarré de surface. L'étendue des voiles sera exprimée par hl, l'impulsion totale du vent par ihl, & le moment de cet effort qui se réunit au milieu de la mâture par $\frac{1}{2}ih^2l$. Il est vrai que nous négligeons la quantité dont le bas de la voile est élevé au-dessus du point de la carene qui sert d'hypomoclion, ce qu'on peut faire presque dans tous les cas, & à plus forte raison dans les navires de charge qui sont peu élevés au-dessus de l'eau. Mais l'égalité qu'il y a entre les momens de l'effort du vent & de la pesanteur du navire, qui se contrebalancent mutuellement, donne l'équation $\overline{\frac{7}{6}a + \frac{1}{6}b - x} \times 12c^3 = \frac{1}{2}h^2li$, dont on tire la formule $h = \sqrt{\overline{\frac{7}{6}a + \frac{1}{6}b - x} \times \frac{24c^3}{il}}$ qui nous apprend la hauteur que doit avoir la mâture; l'étendue lh des voiles sera donc exprimée par $\sqrt{\overline{\frac{7}{6}a + \frac{1}{6}b - x} \times \frac{24c^3l}{i}}$.

Enfin il faut déterminer la vîtesse du sillage du navire; & il est nécessaire pour cela de chercher la quantité de l'impulsion de l'eau sur la proue, que nous comparerons à l'impulsion du vent sur les voiles. L'angle d'incidence de l'eau est égale à l'angle TAO; & si on prend l'unité pour sinus total, on trouvera le sinus de cet angle par cette analogie, AO $(= \sqrt{\overline{AT}^2 + \overline{TO}^2}) = \sqrt{c^2 + x^2} \mid TO = c \mid\mid 1 \mid \frac{c}{\sqrt{c^2 + x^2}}$; & multipliant le quarré de ce sinus par l'étendue $2c^2$ à laquelle se réduit la proue projettée sur un plan perpen-

Fig. 121. diculaire à la longueur du navire, on aura $\frac{2c^4}{c^2+x^2}$ pour l'impulsion rélative directe selon la détermination de l'axe, laquelle doit être égale à l'effort du vent sur la voile. Il faut cependant encore multiplier $\frac{2c^4}{c^2+x^2}$ par le quarré de la vîtesse du choc. Je nomme v cette vîtesse, & V celle du vent, pendant que je désigne par l'unité la densité de l'air & par D celle de l'eau, & j'ai $\frac{2c^4Dv^2}{c^2+x^2}$ pour l'impulsion de l'eau; pendant que le quarré de la vîtesse respective $V-v$ du vent par rapport au navire, multiplié par l'étendue des voiles $\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x\times\frac{24c^3l}{i}}$ & par la densité 1 de l'air, donnera $\overline{V-v}^2\times\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x\times\frac{24c^3l}{i}}$ pour l'impulsion du vent: & on aura par conséquent l'équation $\frac{2c^4Dv^2}{c^2+x^2}$ $=\overline{V-v}^2\times\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x\times\frac{24c^3l}{i}}$ dont on tire $v\sqrt{\frac{2c^4D}{c^2+x^2}}$ $=\overline{V-v}\times\sqrt{\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x\times\frac{24c^3l}{i}}}$, & $v=$

$$\frac{V\sqrt{\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x\times\frac{24c^3l}{i}}}}{\sqrt{\frac{2c^4D}{c^2+x^2}}+\sqrt{\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}bx\times\frac{24c^3l}{i}}}}$$

qui indique la vîtesse que doit recevoir le sillage. Or il ne reste plus qu'à multiplier cette expression par la solidité ou la masse $3ac^2+bc^2-2c^2x$ de la carene trouvée ci-devant, & il viendra

$$\frac{V\sqrt{\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x\times\frac{24c^3l}{i}}}\times\sqrt{c^2+x^2}\times 3ac^2+bc^2-2c^2x}{\sqrt{2c^4D}+\sqrt{\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x\times\frac{24c^3l}{i}}}\sqrt{c^2+x^2}}$$

pour la quantité du mouvement, dont il s'agit de faire un *maximum*, puisqu'on veut que le navire transporte la plus grande charge avec la plus grande vîtesse possible.

Ainsi il faut prendre, selon les regles ordinaires, la diffé-

rentielle

rentielle de cette quantité, on aura . . . . Fig. 121.

$$\frac{c\sqrt{D}\sqrt{\sqrt{\frac{ci}{6l}}}\times\frac{9}{4}x^3dx\left.\begin{array}{l}-\frac{101}{24}a\\-\frac{23}{24}b\end{array}\right\}x^2dx\left.\begin{array}{l}+\frac{7}{4}a^2\\+\frac{1}{6}ab\\+\frac{1}{12}b^2\\+\frac{1}{4}c^2\end{array}\right\}xdx\left.\begin{array}{l}-\frac{37}{24}ac^2\\-\frac{7}{24}c^2b\end{array}\right\}dx \quad -dx\times\overline{\tfrac{7}{6}a+\tfrac{1}{6}b-x}^{-\frac{1}{4}}\times\overline{c^2+x^2}^{\frac{1}{2}}}{\overline{c\sqrt{D}\sqrt{\sqrt{\frac{ci}{6l}}}+\sqrt{\sqrt{\tfrac{7}{6}a+\tfrac{1}{6}b-x}}\sqrt{c^2-x^2}}^{\,2}}$$

& l'égalant à zéro, il viendra l'équation . . . .

$$\frac{9}{4}x^3\left.\begin{array}{l}-\frac{101}{24}a\\-\frac{23}{24}b\end{array}\right\}x^2\left.\begin{array}{l}+\frac{7}{4}a^2\\+\frac{1}{6}ab\\+\frac{1}{12}b^2\\+\frac{1}{4}c^2\end{array}\right\}x\begin{array}{l}-\frac{37}{24}ac^2\\-\frac{7}{24}c^2b\end{array}=\frac{\overline{\tfrac{7}{6}a+\tfrac{1}{6}b-x}^{\frac{3}{4}}\times\overline{c^2+x^2}^{\frac{1}{2}}\sqrt{\sqrt{6l}}}{c\sqrt{D}\sqrt{\sqrt{ci}}}$$

qui fournit la ſolution du problême. Il n'y a qu'à chercher dans cette équation la valeur de x, & on ſçaura la longueur qu'il faudra donner à l'axe AT de la proue.

Pour réduire en nombres la quantité $\frac{\sqrt{\sqrt{6l}}}{\sqrt{D}\sqrt{\sqrt{ci}}}$ qui multiplie le ſecond membre, on n'a qu'à mettre 576 à la place de D qui déſigne la denſité de l'eau par rapport à celle 1 de l'air, conformément aux expériences de M. Mariotte. On pourra ſuppoſer auſſi, comme nous l'avons fait dans la ſection précédente, que l'effort i du vent ſur chaque pied quarré d'étendue de la voile eſt de deux livres, & que la largeur l des voiles actuellement expoſées au vent eſt égale à trois fois la largeur du navire, ou égale à $6c$. La grande voile ſeule a ſa largeur par en bas double de celle du navire, ou égale à $4c$; on mettra le ſurplus, parce que les voiles inférieures ſont plus larges par en haut, & qu'outre cela le vent peut frapper ſur une partie de celles de la proue. Toutes ces ſuppoſitions rendent $\frac{\sqrt{\sqrt{6l}}}{\sqrt{D}\sqrt{\sqrt{ci}}}$ égale à $\frac{\sqrt{\sqrt{18}}}{24}$ qui eſt égale à très-peu près à $\frac{86}{1000}$ & après cela l'équation ne contient plus que des quantités parfaitement connues, ſi on excepte x. Mais ſi on revêtit de nombres la différen-

Fig. 121. tielle même, ou si on la considere seulement avec attention, on verra qu'elle est d'abord negative ; & qu'ainsi lorsque la proue est terminée par un seul plan vertical DI & qu'on commence à la former en angle ou à donner quelque accroissement à l'axe AT, la quantité du mouvement que reçoit le navire commence par aller en diminuant. C'est ce qu'elle fait jusqu'à un certain terme qui est *un moindre* & qui est indiqué par une premiere valeur de x qu'il faut par conséquent éviter avec soin dans la construction. Au-delà de ce terme, la différentielle devient positive, ou ce qui est la même chose, la quantité du mouvement va en croissant & elle parvient à la fin à son *maximum* qui répond à une autre valeur AT de x que fournit également la différentielle égalée à zéro. Cette seconde valeur de x étant découverte, il est à propos de l'introduire dans l'expression même . . . .

$$\frac{V\sqrt{\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x}\times\frac{24c^3l}{i}}\times\sqrt{c^2+x^2}\times\overline{3ac^2+bc^2-2c^2x}}{\sqrt{2cD}+V\sqrt{\sqrt{\frac{7}{6}a+\frac{1}{6}b-x}\times\frac{24c^3l}{i}}\times\sqrt{c^2+x^2}}$$

du mouvement, afin d'éprouver si elle le rend réellement plus grand que lorsque l'axe AT ($=x$) est nulle, ou que lorsque la proue est terminée par un seul plan vertical DGIH. Car comme la quantité du mouvement diminue d'abord lorsqu'on fait croître x, & qu'elle n'augmente qu'ensuite, il se pourroit faire que la somme de ces accroissemens ne fût pas si grande que la somme des premieres diminutions qu'elle a souffertes ; & alors le navire formé à la Chinoise en parallelipipede rectangle par l'avant, recevroit plus de mouvement, & seroit preférable. Dans ce cas Pierre Jansse dont nous avons parlé eût eu raison.

Supposé qu'ils s'agisse en particulier d'un navire de 144 pieds de longueur, formé de AC de 60 pieds & de CB de 84, & que la largeur soit de 40 pieds, on trouvera par la résolution de l'équation que l'axe AT de la proue qui rend effectivement le mouvement le plus grand qu'il est possible, doit être d'un peu plus de 37 pieds ; de sorte que

la partie NM de la carene qui est par-tout de même grosseur sera d'un peu moins de 46 pieds de longueur, & l'axe VB de la poupe d'environ 61; & il faudra observer à peu près les mêmes rapports dans tous les autres bâtimens. On regardera peut-être comme un paradoxe que les navires de transport, qui ont leurs principales dimensions proportionnelles, ne sont pas semblables, aussi-tôt qu'ils ont la forme la plus parfaite ou qu'ils singlent avec la plus grande vîtesse possible, à proportion de la charge qu'ils peuvent porter. Cette diversité de figures vient originairement du vice attaché aux petits navires, de n'avoir pas tant de force à proportion que les grands pour soutenir la voile, & de ce qu'ils singlent par conséquent moins vîte, lorsque toutes les circonstances sont les mêmes. Il suit de là que lorsqu'on rend leur proue un peu plus longue ou plus aigue, & qu'on retranche de la capacité de leur cale, la quantité de leur mouvement s'en trouve un peu augmentée; parceque le même changement produit plus d'effet sur leur vîtesse qu'il n'en produiroit sur celle des grands vaisseaux, qui est d'autant moins susceptible d'augmentation, qu'elle est déja plus grande, & que le vent se meut moins vîte à leur égard; & c'est ce qui résulte aussi de la solution précédente. Cependant on peut presque toujours négliger cette différence dans la pratique: car un navire de charge qui a 36 pieds de long doit avoir l'axe de la proue d'un peu moins de 10 pieds; & il est permis de confondre dans ces matieres le rapport d'un peu moins de 10 à 36 avec celui d'un peu plus de 37 à 144. Enfin on peut prendre pour regle générale de conserver à la carene sa même grosseur sur un espace qui soit à peu près les 32 centiemes de toute la longueur du navire. Si on raccourcissoit cette partie, la proue deviendroit plus aigue & le sillage plus rapide; mais le surplus de la rapidité ne répareroit pas la perte qui se feroit sur la quantité même de la charge; & si on allongeoit au contraire le corps de la carene en raccourcissant la proue, le navire porteroit ensuite une plus grande charge; mais sa vîtesse diminueroit dans un plus grand

Fig. 121.

rapport, & il y auroit donc une perte réelle ſur la quantité abſolue du mouvement ou du tranſport.

II.

Seconde ſolution, pour le cas dans lequel la proue eſt terminée par un ſeul plan incliné en avant.

Au lieu de former la proue par deux plans verticaux qui faſſent un angle, on peut la terminer par un ſeul plan incliné en avant, comme dans la figure 122, & conſerver à la coupe horiſontale DEFG du navire faite à fleur d'eau ſa forme rectangulaire. La proue aura dans ce cas, comme on le ſçait*, non-ſeulement la figure de *la moindre réſiſtance*, mais celle de *la plus grande vîteſſe*. Elle ſera auſſi pouſſée le plus qu'il eſt poſſible dans le ſens vertical, ce qui augmentera la hauteur du point vélique; & ce qui ne l'augmentera pas inutilement, puiſque le navire portera beaucoup de voiles dans toutes les routes. La poupe d'un autre côté étant terminée par un plan incliné en arriere aura auſſi la proprieté de contribuer le plus qu'il ſera poſſible à la vîteſſe du ſillage par le choc que produira le reflux de l'eau, comme on peut s'en aſſurer aiſément par la méthode expliquée dans l'autre chapitre. Ainſi il n'eſt queſtion que de déterminer la longueur qu'il faut donner au propre corps NQ de la carene; & on y réuſſira avec facilité, en ſuivant les veſtiges de la ſolution précédente; ce ſecond problême étant beaucoup plus ſimple que le premier.

Fig. 122.

* Voyez les art. 3 & 5 du chap. 5.

Si l'on conſerve toujours les mêmes dénominations que ci-devant, qu'on déſigne AC par a; CB par b; la demi-largeur du navire par c, la longueur GO de la proue par x &c. On aura $3ac^2 + bc^2 - 2c^2x$ pour la ſolidité de la carene, ou pour la capacité de la cale; $8ac^3 + 8bc^3$ pour la ſtabilité ou pour la force relative en livres qu'a le navire pour ſoutenir la voile: on aura $\sqrt{\frac{16ac^3l + 16bc^3l}{i}}$ pour l'é-

tendue lh des voiles ; $\frac{2c^4Dv^2}{c^2+x^2}$ pour la force de l'impulſion de l'eau ſur la proue ; $\frac{V\sqrt{c^2+x^2}}{\frac{c\sqrt{D}\sqrt{\sqrt{ci}}}{\sqrt{\sqrt{4al+4bl}}}+\sqrt{c^2+x^2}}$ pour la vîteſſe du ſillage ; & enfin en multipliant cette expreſſion de la vîteſſe par celle $3ac^2+bc^2-2c^2x$ de la grandeur de la cale, on aura $\frac{\overline{3ac^2+bc^2-2c^2x}\times V\sqrt{c^2+x^2}}{\frac{c\sqrt{D}\sqrt{\sqrt{ci}}}{\sqrt{\sqrt{4al+4bl}}}+\sqrt{c^2+x^2}}$ pour la quantité du mouvement qu'il s'agit de rendre un *maximum*.

Fig. 122.

Il ne reſte par conſéquent qu'à prendre la différentielle de cette quantité & à l'égaler à zero ; on aura $3ax+bx-4x^2-2c^2=\frac{\overline{c^2+x^2}^{\frac{3}{2}}\times 2\sqrt{\sqrt{4al+4bl}}}{c\sqrt{D}\sqrt{\sqrt{ci}}}$, & on trouvera dans cette équation, ſi on ſuppoſe comme ci-devant que la longueur totale du navire eſt de 144 pieds & ſa largeur de 40, que la ſaillie OG ou ND de la proue doit être d'un peu plus de 44 pieds. D'où il ſuit que le corps NQ de la carene aura environ 32 pieds de longueur, & la poupe environ 68. On pourra obſerver à peu près les mêmes proportions dans tous les autres navires.

Il n'eſt pas étonnant que la proue ſe trouve un peu plus longue que lorſqu'elle eſt formée en pointe par deux plans verticaux qui font un angle. Car la longueur de la proue dans cet autre cas ne contribue au *maximum* du mouvement que par un ſeul chef, & elle y nuit au contraire par deux. Elle y contribue en rendant la proue plus aigue & en faiſant diminuer la réſiſtance de l'eau, ce qui rend le ſillage un peu plus prompt. Au lieu qu'elle y nuit, 1°. En rendant moindre la capacité de la carene, & 2°. En faiſant diminuer la force qu'a le navire pour porter la voile, ce qui cauſe donc auſſi quelque diminution ſur la vîteſſe du ſillage. Ce n'eſt pas la même choſe dans le cas préſent ; la force qu'a le navire pour ſoutenir la voile, eſt conſtante, puiſque la figure & l'étendue de la coupe horiſontale DEFG de la carene ne changent pas. C'eſt pourquoi on trouve de l'a-

Fig. 121. vantage à allonger un peu plus la proue ; on diminue un peu de la capacité de la cale ; mais on gagne plus à proportion sur la vîtesse de la marche. Au surplus si on adoucit les arrêtes du navire de la figure 122, on aura presque la forme des flûtes Hollandoises ; à cela près que ces flûtes n'ont pas tant de *façons* ou que leur proue a moins de saillie ; ce qui nous montre que si les Nations Septentionales ont le plus approché de la perfection à l'égard des bâtimens de charge, elles ne l'ont cependant pas entierement atteinte. Elles ont manqué le *maximum* du mouvement en rendant la capacité de leur navire trop grande, & en faisant trop diminuer la promptitude du sillage. Les grandes façons de notre flûte feront encore qu'elle dérivera assez peu, pourvu qu'on prolonge suffisamment sa quille au-dessous de la proue, en donnant à l'étrave une situation plus verticale. Nous avons déja averti de la nécessité de conserver cette partie qui n'est pas exprimée dans la figure que nous avons actuellement sous les yeux, mais qui l'est dans plusieurs autres & principalement dans la vingt-cinquieme. En un mot, nous ne faisons pas difficulté de dire que nous croyons avoir obtenu par cette seconde solution, la forme la plus parfaite qu'on puisse donner aux navires de transport, lorsqu'il n'y a point de raisons particulieres pour insister plus ou moins sur une proprieté ou sur l'autre ; sur celle qu'ils doivent avoir de porter une grande charge, ou sur celle de marcher avec vîtesse. Il est absolument nécessaire de mettre ici cette restriction : car si une flûte n'est destinée qu'à faire des voyages dans une certaine saison, sans qu'on puisse les multiplier, & que cependant on ait du tems de reste, il est évident que ce n'est plus le cas dont il s'agit dans notre problême. On doit alors renoncer au *maximum* du mouvement, pour se rapprocher de la construction Hollandoise, en augmentant la grandeur de la cale.

III.

Méthode particuliere de former les vaisseaux de guerre & les frégates.

On pourra donner avec avantage cette même forme aux vaisseaux de guerre ; la rectitude de leurs flancs, comme nous l'avons dit dans le premier livre, permettra de leur donner une nombreuse artillerie ; leur pont ou tillac sera non-seulement très-vaste, il sera également large par-tout ; ce qui est extrémement avantageux : & malgré cela ces vaisseaux marcheront avec la plus grande vîtesse, si on leur donne les voiles qu'ils pourront porter. La partie dont nous avons parlé plus haut, qui est marquée par BCF dans la figure 25, ne peut nuire à la rapidité du sillage que par la seule résistance qu'éprouve son extrémité ou l'épaisseur de l'étrave : cette résistance sera toujours peu considérable dans tous les navires ; & si on vouloit la détruire presqu'entierement, il n'y auroit qu'à former l'étrave en couteau, & garnir de fer son tranchant, pour qu'il ne s'émoussât pas.

Rien n'empêchera aussi, lorsque le poids des parties supérieures le permettra, de supprimer entierement le tronc de la carene qui sépare l'avant de l'arriere. Les deux plans inclinés qui formeront la proue & la poupe, partiront ensuite en bas du même point ; ils seront d'autant plus inclinés que le navire sera plus long par rapport à la profondeur. On aura de cette sorte une frégate ou une corvette qui ne paroîtra qu'ébauchée, mais dont il faudroit cependant faire quelques essais, pour sçavoir si elle n'est pas réellement préférable à toutes les autres ; quoiqu'on se fonde en la proposant, sur la remarque faite à la fin du chapitre IV, & qu'il semble qu'on n'ait en vue que la seule commodité des marins. C'est toujours un avantage dont elle jouira, & qu'il faut joindre aux autres dont nous avons fait mention au commencement de l'article précé-

dent, que le concours de toutes les directions du choc de l'eau se fasse vers le milieu de la carene. On se souvient que c'est au-dessus de ce point que doit répondre l'effort total du vent sur les voiles : ainsi au lieu d'être obligé d'entasser, pour ainsi dire, les mâts les uns auprès des autres vers la proue, on aura ici tout le champ nécessaire, on aura toute l'étendue que fournit la longueur du navire ; ce qui donnera également au Constructeur la facilité de bien disposer la mâture & de la rendre légere, en étendant plus les voiles dans le sens de la largeur que dans celui de la hauteur, & aux matelots la facilité d'exécuter en mer toutes leurs manœuvres.

C'est principalement à l'égard de cette frégate, qu'il faudra employer le moyen que nous avons indiqué à la fin du Livre précédent, pour remédier à la violence du tangage, en rassemblant presque tout le poids vers le milieu de la cale. On pourra non-seulement, lorsqu'on adoucira les angles que forment entr'elles les diverses parties de la surface de la carene, se proposer de faire diminuer encore l'impulsion de l'eau sur la proue ; on pourra gagner quelque chose en retrécissant le navire par ses deux extrémités, pourvu que ce retrécissement n'aille pas trop loin. Si ces bâtimens pechent par quelque endroit, c'est qu'ils seront plus propres à glisser sur l'eau qu'à la fendre, & que leur forme déterminera plutôt l'eau à passer par dessous la carene qu'à se retirer par les côtés : mais ce défaut n'est porté si loin dans les chalands & dans les bateaux qui navigent sur les rivieres, que parce qu'ils sont trop larges par rapport à leur profondeur ; & qu'ils sont outre cela dénués de ces deux parties qui servent à lier la quille avec la proue & la poupe, & qui se terminent à l'étrave & à l'étambot, placés presque verticalement. Il ne seroit enfin question, à ce qu'il nous paroît, que d'accoutumer ses yeux à de semblables figures ; tout se réduiroit à une seule forme dans la construction, & rien ne seroit ensuite plus simple que l'Architecture navale, qui étoit auparavant si difficile.

CHAPITRE X.

Suite du Chapitre précédent : examen de la figure particuliere qu'il faut donner à la proue des Navires de transport.

I.

MAIS malgré toutes nos recherches, nous n'avons encore trouvé que la forme générale du navire de transport, ou les seules proportions qu'on doit mettre entre les diverses parties de sa carene ; & nous ignorons toujours la figure propre de sa proue, qui au lieu d'être terminée par un plan incliné, doit l'être par une surface courbe. La proue formée par un plan incliné en avant réunit en même tems, comme nous l'avons montré, les deux propriétés d'éprouver la moindre résistance de la part de l'eau & de faire singler le navire avec la plus grande rapidité ; & ce plan incliné de plus selon le degré precis que nous venons de déterminer, fera que tout consideré, la quantité du transport sera la plus grande qu'il sera possible. Mais en substituant au plan une surface courbe, nous pouvons, en perdant quelque chose du côté de la promptitude du sillage, faire une plus grande acquisition sur la grandeur de la carene, & gagner par conséquent encore sur la quantité totale de la charge, en tant qu'elle est transportée. Cette surface courbe constituera une troisieme espece de proue, qu'on peut nommer celle *du plus grand mouvement*, pour la distinguer des deux autres, de celle *de la moindre dérive* ou *de la moindre résistance*, & de celle *de la plus grande vîtesse*. Il nous reste donc encore à tâcher de découvrir la nature de cette troisieme proue, si nous voulons ne pas nous contenter d'une perfection universelle répandue sur le total de la figure, & que nous prétendions

Pppp

Fig. 121. que chaque partie du navire de transport soit parfaite, prise séparement.

Nous nous hâtons de passer par les discussions préliminaires de la hauteur de la mâture, de l'étendue des voiles, de la vîtesse du sillage, &c. dont on voit assez la nécessité indispensable; pour venir plus promptement à l'intérieur même du Problême, ou à ce qui le distingue du précédent. Nous nommerons, ainsi que nous l'avons déja fait ailleurs, M la stabilité ou la force rélative qu'a le navire pour soutenir l'effort que fait le vent sur la voile. On évaluera cette force en livres: & comme il n'en est qu'une certaine partie, comme la sixieme, par exemple, qui s'oppose à l'effort du vent, parce que le navire ne doit jamais s'incliner tout-à-fait, nous désignerons cette partie par fM qui doit donc être égale au moment de l'effort du vent, & ce qui donne l'équation $fM = \frac{1}{2} lh^2 i$. La hauteur des voiles est toujours indiquée par h, leur largeur par l, & l'effort absolu du vent sur chaque pied quarré de surface par i; ce qui donne lh pour l'étendue des voiles; lhi pour l'effort absolu du vent, & $\frac{1}{2} lh^2 i$ pour son moment. De cette équation $fM = \frac{1}{2} lh^2 i$, j'en déduis la hauteur des voiles $h = \frac{\sqrt{2fM}}{li}$, & leur étendue $lh = \frac{\sqrt{2flM}}{i}$.

Je nomme de plus I l'impulsion totale directe de l'eau sur la proue, telle qu'elle nous est fournie immédiatement par les méthodes purement géométriques, lorsqu'on prend l'unité pour sinus total: c'est-à-dire, que I désigne l'étendue de la surface plane qui recevroit la même impulsion, si elle étoit exposée perpendiculairement au choc du fluide. Je la multiplie par la densité D de l'eau & par le quarré v^2 de la vîtesse du sillage: ce qui me donne $D \times Iv^2$ pour l'impulsion complete ou physique, qui est parfaitement égale & parfaitement contraire à l'impulsion du vent sur les voiles, lorsque le navire a acquis son mouvement uniforme. Cette derniere impulsion est $\overline{V - v}$ $\frac{\sqrt{2flM}}{i}$ produit de l'étendue $\frac{\sqrt{2flM}}{i}$ de la surface exposée au

choc par la densité I de l'air & par le quarré $\overline{V - v}^2$ de la vîtesse respective du vent, ou de l'excès de la vîtesse V du vent sur celle du navire. Ainsi nous avons dans le cas de l'équilibre $D \times I \times v^2 = \overline{V - v}^2 \frac{\sqrt{2flM}}{i}$ dont nous déduisons la vîtesse du navire $v = \frac{V\sqrt{\sqrt{2flM}}}{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}\sqrt{I}}} + \sqrt{\sqrt{2flM}}}$.

Fig. 118.

Enfin je nomme P la pesanteur totale du vaisseau, & la multipliant par la vîtesse que je viens de trouver, il me vient $\frac{V \times P\sqrt{\sqrt{2flM}}}{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}\sqrt{I}}} + \sqrt{\sqrt{2flM}}}$ pour la quantité du *transport*, ou pour celle du mouvement. C'est cette quantité que nous voulons rendre un *maximum* : c'est pourquoi j'en prends la différentielle, en traitant la pesanteur P comme variable, de même que le moment ou la stabilité M, & l'impulsion I : & cette différentielle égalée à zero, se réduit à

$$\frac{dP\sqrt{\sqrt{M}}}{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}\sqrt{I}}} + \sqrt{\sqrt{2flM}}} = \frac{\frac{1}{2}\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}} \times M \times P \times dI - \frac{1}{4}\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}} \times I \times P \times dM}{\sqrt{I} \times M^{\frac{1}{4}} \times \overline{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}\sqrt{I}}} + \sqrt{\sqrt{2flM}}}^2}.$$

Ainsi il ne s'agit plus que d'assujettir à cette équation toute la courbure de la proue ; & on n'y trouvera aucune difficulté aussi-tôt qu'on fera attention à la maniere dont nous avons déja considéré ci-devant les différentielles des quantités particulieres M & I dans le Chapitre VI.

II.

Supposé que la proue soit un conoïde formé par la révolution de la courbe RT (Fig. 119.) autour de son axe RS, dont les abscisses sont désignées par x, pendant que les ordonnées de la courbe le sont par y, on n'a qu'à considerer deux parties consécutives & infiniment petites DH & HF de la ligne courbe & leur faire prendre la situation Dh, hF, en laissant les dy ou IH & FL constantes, & ne faisant varier que les dx, de la petite quantité du second genre Hh $= ddx$. L'aire renfermée par la courbe se trouvera augmentée des deux petits triangles DHh, FHh dont l'éten-

Fig. 119.

Fig. 119. due est $dyddx$, & si on la multiplie par la longueur du chemin de rotation que décrit son centre de gravité, pendant que la courbe engendre le conoïde, on aura l'anneau par lequel la pesanteur total P est augmentée. J'exprime par δ & π le rapport du rayon à la demi-circonférence du cercle; ce qui me donne $\frac{\pi y}{\delta}$ pour le chemin de rotation, ou pour le pourtour du demi-anneau que forment les deux triangles D H h & H F f par leur demi-circonvolution autour de l'axe AC ou RS. Ainsi $\frac{\pi}{\delta}ydyddx$ sera la solidité de cet anneau & ce sera en même tems la valeur que nous voulions obtenir de la différentielle dP de la pesanteur P.

Le moment M, comme on le sait, est égal à $\frac{2}{3}\int y^3dx$ ou aux deux tiers de l'espace RPG, lorsqu'on rend les ordonnées EM, GP, &c. de la nouvelle courbe RP égales aux cubes y^3 des ordonnées correspondantes ED, GF de la courbe qui forme le conoïde. Ainsi la différentielle dM sera égale aux deux tiers des deux petits triangles MNn & NPn qui naissent par le changement de disposition des petits côtés MN, NP de la courbe RP, en même tems qu'on fait changer la disposition des petits côtés de la courbe principale. Nous avons pour NO ou QP l'expression $3y^2dy$ différentielle de y^3: multipliant $3y^2dy$ par N$n = ddx$, nous aurons $3y^2dyddx$ pour l'étendue des deux petits triangles dont il s'agit; & nous aurons donc $2y^2dyddx$ pour la valeur de la différentielle dM.

Il nous reste à chercher dI. Je prends l'unité pour sinus total & je remarque que l'angle IDH est égal à l'angle d'incidence de l'eau sur la petite partie DH, ou sur toute la zone que forme DH par sa demi-révolution; puisque le mouvement du sillage est censé se faire dans le sens exactement parellele à l'axe RS ou à DI. Nous trouverons donc le sinus de l'angle d'incidence par cette analogie

$$\sqrt{dx^2 + dy^2} = DH = \sqrt{\overline{DI}^2 + \overline{IH}^2} \,|\, dy = HI \,||\, 1 \,|\, \frac{dy}{\sqrt{dx^2 + dy^2}}.$$

& il n'y a qu'à en multiplier le quarré $\frac{dy^2}{dx^2 + dy^2}$ par la couronne plane à laquelle se réduit la zone qui reçoit le choc, lorsqu'on la projette sur un plan perpendiculaire à l'axe. Cette couronne a pour circuit la demi-circonférence $\frac{\pi y}{\delta}$ dont l'ordonnée y est le rayon, & sa largeur est $HI = dy$. Ainsi l'impulsion rélative, selon la détermination de l'axe que souffre la zone formée par la révolution du petit côté DH, est égale à $\frac{\pi y dy^3}{\delta \times \overline{dx^2 + dy^2}}$, & cette expression convient aussi à l'impulsion que reçoit la seconde zone formée par HF, supposé que dx & dy désignent HL & LF. Mais enfin lorsque les deux petits côtés DH & HF prendront la disposition Dh & hF, la petite impulsion $\frac{\pi y dy^3}{\delta \times \overline{dx^2 + dy^2}}$ augmentera à l'égard d'une des petites zones & diminuera à l'égard de l'autre. Le changement particulier à l'égard de chacune sera $\frac{2\pi y dy^3 dxddx}{\delta \times \overline{dy^2 + dx^2}^2}$; d'où il suit que le changement sur les deux sera $\frac{2\pi y dy^3 dxddx}{\delta \times \overline{dy^2 + dx^2}^2} - \frac{2\pi y dy^3 dxddx}{\delta \times \overline{dy^2 + dx^2}^2}$ & c'est la valeur de dI dont nous avions besoin en dernier lieu.

Fig. 119.

Ainsi rien ne nous empêche maintenant de tranformer la premiere équation du Problême

$$\frac{dP\sqrt{\sqrt{M}}}{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D\sqrt{I}}}} + \sqrt{\sqrt{2flM}}} = \frac{\frac{1}{2}\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}} \times M \times P \times dI - \frac{1}{4}\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}} \times I \times P \times dM}{\sqrt{I} \times M^{\frac{1}{4}} \times \overline{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D\sqrt{I}}}} + \sqrt{\sqrt{2flM}}}^2}$$

en cette autre

$$\frac{\frac{\pi}{\delta} ydyddx\sqrt{\sqrt{M}}}{\sqrt{\sqrt{i\,D\sqrt{I}}} + \sqrt{\sqrt{2flM}}} = \frac{\frac{1}{2}\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}} \times M \times P \times \left(\frac{2\pi y dy^3 dxddx}{\delta \times \overline{dy^2 + dx^2}^2} - \frac{2\pi y dy^3 dxddx}{\pi \times \overline{dy^2 + dx^2}^2}\right) - \frac{1}{4}\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}} \times I \times P \times 2y^2 dyddx}{\sqrt{I} \times M^{\frac{1}{4}} \times \overline{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D\sqrt{I}}}} + \sqrt{\sqrt{2flM}}}^2}$$

qui se change par la transposition, & lorsqu'on multiplie

Fig. 119.

par $\sqrt{I}\times M^{\frac{1}{4}}\times\overline{\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I+\sqrt{\sqrt{2flM}}}}}$ & qu'on divise par ddx, en $\frac{\pi}{\delta}ydy\times M\sqrt{I}\times\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I+\sqrt{\sqrt{2flM}}}}+\frac{1}{2}\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}}\times I\times P\times y^2dy=\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}}\times M\times P\times\overline{\frac{\pi ydy^3dx}{\delta\times\overline{dy^2+dx^2}^{\frac{3}{2}}}-\frac{\pi ydy^3dx}{\delta\times\overline{dy^2+dx^2}^{\frac{3}{2}}}}$ qui doit regner sur toutes les parties de la courbe R T du conoïde que nous voulons déterminer. J'integre cette derniere équation, en remarquant que la quantité $\frac{\pi ydy^3dx}{\delta\times\overline{dy^2+dx^2}^{\frac{3}{2}}}-\frac{\pi ydy^3dx}{\delta\times\overline{dy^2+dx^2}^{\frac{3}{2}}}$ contenue dans le second membre est la différentielle de $\frac{\pi ydy^3dx}{\delta\times\overline{dy^2+dx^2}^{\frac{3}{2}}}$, puisqu'elle est l'excès de la grandeur $\frac{\pi ydy^3dx}{\delta\times\overline{dy^2+dx^2}^{\frac{3}{2}}}$ qui appartient à une des zones sur la même grandeur qui appartient à la zone immédiatement suivante. L'équation prend par l'intégration, sans qu'il soit nécessaire d'y rien ajouter, la forme ordinaire des équations différentielles, $\frac{\pi}{2\delta}y^2\times M\sqrt{I}\times\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I+\sqrt{\sqrt{2flM}}}}+\frac{1}{6}\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}}\times I\times P\times y^3=\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}}\times M\times P\times\frac{\pi ydy^3dx}{\delta\times\overline{dy^2+dx^2}^{\frac{3}{2}}}$ qui se réduit à $3\pi y\times M\sqrt{I}\times\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I+\sqrt{\sqrt{2flM}}}}+\delta\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}}\times I\times P\times y^2=6\pi\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}}\times M\times P\times\frac{dy^3dx}{\overline{dy^2+dx^2}^{\frac{3}{2}}}$; & si on prend une variable z qui soit telle par rapport à la constante a, que $dx=\frac{zdy}{a}$, on trouvera $y=$

$$\frac{3\pi M\times\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I+\sqrt{\sqrt{2flM}}}}}{2\delta\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I}}\times P}+\sqrt{\frac{9\pi^2M^2\times\overline{\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I+\sqrt{\sqrt{2flM}}}}}^2}{4\delta^2\sqrt{i}\times D\times I\times P^2}+\frac{6\pi M\times a^3z}{\delta\times I\times\overline{a^2+z^2}^{\frac{3}{2}}}}$$

Il ne reste plus après cela qu'à chercher en différentiant, la valeur de dy & à l'introduire dans l'équation $dx=\frac{zdy}{a}$, pour avoir dx. Il vient $x=$

$$\int \frac{\frac{3\pi M}{\delta \times I} \times \frac{a^4 z dz - 3a^2 z^3 dz}{(a^2+z^2)^2}}{\sqrt{\frac{9\pi^2 M^2 \times \left(\sqrt{\sqrt{i}\sqrt{D}\sqrt{I}} + \sqrt{\sqrt{2fIM}}\right)^2}{4\delta^2 \sqrt{i} \times D \times I \times P^2}} + \frac{6\pi M a^3 z}{\delta \times I \times (a^2+z^2)^2}}.$$

Ainsi on a donc la relation par rapport à z des abscisses x & des ordonnées y du conoïde le plus simple, qui est propre à former *la proue du plus grand mouvement*. Il est évident qu'on pourra toujours trouver autant de différentes valeurs de ces abscisses & de ces ordonnées, qu'on attribuera de diverses grandeurs à la variable z.

III.

Le Problême sera incomparablement moins compliqué dans le cas qui nous interesse particulierement, ou lorsque la proue au lieu d'être un conoïde, sera simplement terminée par une surface courbe de haut en bas & inclinée en avant, comme nous le souhaitons à l'égard du navire de la figure 122. Alors la différentielle dM sera nulle, puisque la figure de la proue ne changera rien aux largeurs du navire. Les deux autres différentielles dP & dI subsisteront toujours, mais elles seront plus simples. Je n'ai que faire d'avertir que la proue étant terminée par une surface DP, la ligne droite GP deviendra courbe, & que x désigne les abscisses ou parties de son axe GO & y ses ordonnées qui sont verticales & paralleles à OP. Cela supposé, la différentielle dP de la pesanteur P, au lieu d'être égale à $\frac{\pi}{\delta} ydyddx$, sera simplement égale à $2cdyddx$; c'est-à-dire, à l'étendue des deux petits triangles $dyddx$ que produit le renflement de la proue ou le changement de disposition des deux petits côtés consécutifs de GP devenue ligne courbe, multipliée par DG ou par $2c$, qui est la largeur de la carene. Par la même raison l'impulsion sur une zone, qui étoit $\frac{\pi y dy^3}{\delta \times (dx^2 + dy^2)}$ lorsque cette zone étoit circulaire,

Fig. 122.

Fig. 121. sera actuellement $\frac{2cdy^3}{dy^2+dx^2}$. Le sinus de l'angle d'incidence est le même, mais la zone étant rectiligne dans le sens horisontal & ayant pour longueur la largeur $2c$ de la proue, il faut multiplier le quarré du sinus de l'angle d'incidence par $2cdy$ pour avoir l'impulsion rélative directe $\frac{2cdy^3}{dy^2+dx^2}$ selon le sens de l'axe. Il suit delà que la differentielle dI, est $\frac{4cdy^3dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2} - \frac{4cdy^3dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$, & si on introduit ces nouvelles différentielles dans la premiere équation, on aura

$$\frac{2cdyddx\sqrt{\sqrt{M}}}{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2flM}}} = \frac{2c\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}}\times M\times P}{\sqrt{I}\times M^{\frac{1}{4}}\times\overline{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2flM}}}^2}$$

$\times\ \frac{dy^2dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2} - \frac{dy^3dxddx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$ qui se réduit par des opérations semblables à celles que nous avons employées il n'y a qu'un moment, à $y\sqrt{I}\times\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2flM}} = \sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}}\times P\times\frac{dy^3dx}{\overline{dy^2+dx^2}^2}$. Introduisant ensuite $\frac{zdy}{a}$ à la place de dx, on a $y = \frac{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}}\times P}{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}}\times I+\sqrt{I}\sqrt{\sqrt{2flM}}}\times\frac{a^3z}{\overline{a^2+z^2}^2}$; d'où repassant à dx, on trouve $x = \frac{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}}\times P}{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}}\times I+\sqrt{I}\sqrt{\sqrt{2flM}}}\int\frac{a^4zdz - 3a^2z^3dz}{\overline{a^2+z^2}^2}$; ce qui résout entierement la question, & ce qui oblige simplement d'avoir recours aux logarithmes ou à la quadrature de l'hyperbole.

Nous avons saisi exprès pour en faire l'origine de notre courbe le terme où la quantité $\frac{a^3z}{\overline{a^2+z}^2}$ est égale à zero : mais cette quantité en augmentant parvient à son *maximum*, lorsque $z = a\sqrt{\frac{1}{3}}$ & diminue ensuite ; & si on prend ce *maximum* pour en faire l'origine de la courbe, le second membre de la formule $y = \frac{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}}\times P}{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}}\times I+\sqrt{I}\sqrt{\sqrt{2flM}}}\times\frac{a^3z}{\overline{a^2+z^2}^2}$ ira

en

en diminuant à meſure qu'on fera augmenter z, & il faudra donc auſſi faire diminuer le premier membre. Il ſuffira pour cela de prendre e pour la plus grande valeur de y, ou pour l'ordonnée OP (Fig. 121.) & on aura alors $e - y$ $= \frac{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}} \times P}{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}} \times I + \sqrt{I\sqrt{\sqrt{2flM}}}} \times \frac{a^3 z}{a^2 + z^2}$. On peut enter cette nouvelle courbe à l'extrémité de la premiere : car la propriété qu'elles ont eſt non-ſeulement commune à chaque partie, elle ſubſiſte encore lorſqu'on éloigne ou qu'on rapproche la courbe de ſon axe, en changeant toutes ſes ordonnées d'une quantité égale. On le verra évidemment, auſſi-tôt qu'on fera attention que cette tranſpoſition ne change rien dans la loi qu'obſervent entr'elles les différentielles de la peſanteur P, de l'impulſion I, &c. J'ai non-ſeulement calculé les dimenſions de la courbe entiere en joignant les deux parties, j'ai ſupputé auſſi les impulſions que ſouffrent tous les arcs à commencer dès l'origine. Le tout eſt exprimé dans la Table ſuivante, mais il faut ſe reſſouvenir que c'eſt en milliemes de l'unité.

Fig. 121.

TABLE

Des dimenſions de la proue du plus grand mouvement.

Abſciſſes ou longueurs de l'axe de la proue.	Ordonnées ou profondeurs de la proue.	Impulſions	Abſciſſes ou longueurs de l'axe de la proue.	Ordonnées ou profondeurs de la proue.	Impulſions
0	0	0	259	508	397
1	50	50	284	524	402
5	98	97	307	538	406
18	185	182	328	550	409
35	252	245	349	561	411
50	297	285	365	570	413
61	320	304	381	578	414
63	325	308	412	592	417
69	335	316	437	602	418
83	352	327	457	610	419
102	375	340	486	620	420
126	400	354	511	628	421
152	425	365	541	636	422
179	448	375	586	645	422
206	470	384	612	649	422
233	490	391	628	650	422

On juge aſſez que c'eſt le coëfficient $\frac{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}}\times P}{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}}\times I + \sqrt{I}\sqrt{\sqrt{2flM}}}$ qui multipliant également la valeur des abſciſſes & des ordonnées, regle le choix qu'on doit faire des diverſes parties de la courbe. Si on évalue tout en pieds de Roy & en livres, on pourra mettre à la place de i, de D, de l les mêmes nombres que dans le Chapitre précédent. Le moment M doit être multiplié par 72 livres, qui eſt le poids du pied cubique d'eau de mer, & comme il n'y a guere que la ſixieme partie de ce moment qui faſſe effet, on aura 12 M pour f M, & par conſéquent $f = 12$. Il ne ſera pas difficile non plus de trouver l'impulſion I; on y réuſſira par une ſimple analogie. Suppoſé qu'on veuille employer la

Fig. 122.

partie de la courbe qui est comprise depuis l'ordonnée 550 jusqu'à l'ordonnée 602 ; cette partie souffre une impulsion qui est exprimée par 9, excès de 418 sur 409 ; & si la plus grande ordonnée ou profondeur OP de la proue est de 20 pieds, il faudra faire cette proportion ; 52, différence des ordonnées de la Table, est à 20 pieds, comme 9 est à $\frac{36}{13}$ qu'il ne restera plus qu'à multiplier par la largeur (40) de la proue, pour avoir l'impulsion I qui sera de $138\frac{6}{13}$. Enfin il est évident qu'on n'aura trouvé la portion de la courbe dont on doit se servir, que lorsque la partie de l'ordonnée qui lui répond & qui est, comme je l'ai dit, exprimée dans la Table en milliemes de l'unité, donnera étant multipliée par $\frac{\sqrt{\sqrt{\sqrt{D}}}\times P}{\sqrt{\sqrt{\sqrt{D}}}\times I+\sqrt{I}\sqrt{\sqrt{2flM}}}$, le nombre de pieds que doit avoir effectivement la plus grande ordonnée ou profondeur OP. C'est-à-peu-près cette partie que nous venons de désigner & qui est comprise entre les ordonnées marquées par 550 & 602, qui est propre pour la flute de 144 pieds de longueur, de 40 de largeur, & 20 de profondeur. Supposé que cette flute fût plus longue à proportion de ses autres dimensions, comme cela arrivera ordinairement, il faudroit emprunter une partie encore plus petite de la courbe pour servir de modele : car le coëfficient $\frac{\sqrt{\sqrt{i\sqrt{D}}}\times P}{\sqrt{\sqrt{\sqrt{D}}}\times I+\sqrt{I}\sqrt{\sqrt{2flM}}}$ seroit plus grand, à cause de l'augmentation de P ; & ce ne seroit donc qu'en multipliant par une ordonnée plus petite de la Table, qu'on trouveroit comme on le doit, 20 pieds pour la valeur de OP. Alors la courbure de la surface de la proue, qui est déja si peu considérable, le seroit encore moins ; & c'est ce qui est très-évident d'ailleurs. Il est clair que si le navire étoit infiniment long, la convexité qu'on pourroit donner à la proue ne procureroit aucune augmentation sensible à la capacité de sa cale, pendant qu'elle feroit retarder sensiblement la vîtesse du sillage : ainsi sans rien gagner d'un côté, on perdroit de l'autre, & la quantité totale du mouvement se trouveroit plus petite. Il suit delà qu'il faudroit dans ce cas extrê-

Fig. 122. me s'arrêter exactement à la figure de la proue de la moindre résistance ou de la plus grande vîtesse, comme dans la figure 122. Mais on voit en même tems que dans tous les autres cas dans lesquels la proue du plus grand mouvement differe de celle de la plus grande vîtesse, la surface DP qui la termine ne doit prendre de la courbure que peu à peu, à mesure qu'on rend le navire moins long, ou qu'on diminue sa solidité. On peut au surplus négliger toujours, si on le veut, toute cette courbure, puisque la convexité qu'elle produit par rapport à la ligne droite qui lui sert de corde, n'est jamais que la 48 ou la 50me. partie de sa longueur.

IV.

Il est vrai que nous trouverions l'inflexion presque toujours un peu plus grande, si nous considerions la carene dans l'état d'heterogénéité où elle est ordinairement. Car aussi-tôt qu'on rend un peu plus convexe la surface qui termine la proue, il faut augmenter le lest; & sa pesanteur spécifique étant plus grande que celle de l'eau marine le nombre de fois n, la force relative qu'a le navire pour soutenir la voile augmente, comme nous l'avons démontré dans la seconde Section du Livre précédent *, du produit de l'espace ajouté par le multiple $n - 1$ de la quantité dont son centre de gravité est au-dessous de la surface du lest; quoique la coupe horisontale de la carene faite à fleur d'eau, ne change ni de figure ni d'étendue. Ainsi c'est une raison de plus pour augmenter un peu plus le renflement de la proue. Mais on doit remarquer que ce renflement effectué sur la seule extrémité de la carene, ne peut jamais être considérable par rapport à la solidité entiere du navire, & qu'il s'en faut beaucoup qu'il puisse avoir les mêmes suites que lorsque l'espace est ajouté en même tems aux deux côtés du vaisseau, & qu'il s'étend sur toute sa longueur par laquelle il se multiplie.

* Voyez l'art. 2 du Chap. 9.

Au reste, notre méthode n'est point arrêtée par cette difficulté. La petite augmentation dP que reçoit la pesanteur

ou la solidité du navire par le petit excès de convexité de la surface qui termine la proue, est $2cdyddx$, & si nous faisons commencer pour plus de simplicité toutes les ordonnées y à la surface supérieure du lest, nous aurons $\overline{n-1}\times y\times 2cdyddx$ pour la petite augmentation que recevra le moment ou la force relative M qu'a le navire pour soutenir la voile. Au lieu de regarder dM comme nulle, on n'a qu'à introduire $\overline{n-1}\times 2cydyddx$ à sa place dans l'équation générale $\frac{dP\sqrt{\sqrt{M}}}{\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2flM}}} = \frac{\frac{1}{2}\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\times M\times P\times dI - \frac{1}{4}\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\times I\times P\times dM}{\sqrt{I}\times M^{\frac{5}{4}}\times\overline{\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2flM}}}^{2}}$, en même tems qu'on fera les autres substitutions. On trouvera

$$y = \frac{4M\times\overline{\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2flM}}}}{\overline{n-1}\times\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\sqrt{I}\times P} + \sqrt{\frac{16M^2\times\overline{\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2flM}}}^{2}}{\overline{n-1}^{2}\times\sqrt{i}\times D\times I\times P^2} + \frac{8M}{\overline{n-1}\times I}\times\frac{a^3z}{\overline{a^2+z^2}^{2}}}$$

&

$$x = \int\frac{\frac{4M}{\overline{n-1}\times I}\times\frac{a^4zdz-3a^2z^3dz}{\overline{a^2+z^2}^{3}}}{\sqrt{\frac{16M^2\times\overline{\sqrt{\sqrt{i}}\sqrt{D}\sqrt{I}+\sqrt{\sqrt{2flM}}}^{2}}{\overline{n-1}^{2}\times\sqrt{i}\times D\times I\times P^2} + \frac{8M}{\overline{n-1}\times I}\times\frac{a^3z}{\overline{a^2+z^2}^{2}}}},$$

pour les ordonnées & les abscisses de la courbe qui est la correspondante de celle que nous avons trouvée la premiere dans l'article précédent, mais qui ne convenoit qu'au seul cas particulier dans lequel la pesanteur totale du vaisseau a le même centre de gravité que sa carene, ou au moins dans lequel les nouveaux poids qu'il faut ajouter à la charge, lorsqu'on augmente la solidité de la carene, agissent toujours exactement dans le centre de gravité des espaces ajoutés. Nous n'avons encore que la partie de la courbe qui sert à former la proue au-dessous de la surface du lest; mais il n'est pas plus difficile de déterminer l'autre. Il est remarquable que la proue doive, dans la rigueur, avoir des

Fig. 122.

formes différentes, non-seulement selon les divers efforts du vent sur les voiles; mais aussi selon que la charge du navire est d'une pesanteur spécifique plus ou moins grande, & que son arrangement fait qu'elle monte plus ou moins haut dans la cale. Il est vrai que cette singularité en est moins une, depuis que nous avons vu quelque chose de semblable à l'égard de la figure de la poupe, & même à l'égard de la coupe du navire faite perpendiculairement à sa longueur.

V.

Nous ajouterons une derniere remarque, qui est d'une trop grande importance pour que nous l'oublions, d'autant plus que nous avons promis de la faire. Nous travaillons toujours à faire diminuer la résistance que trouve la proue à fendre l'eau, & à faire augmenter la stabilité du navire, ou la force qu'il a pour soutenir la voile. Si nous réussissons par ces deux moyens à rendre le sillage rapide, nous réussirons aussi à faire diminuer la dérive dans les routes obliques. Cependant elle pourroit ne pas diminuer autant qu'on le souhaite; parce que sa diminution ne répond qu'à la seule partie, qui dans les figures de même genre dépend de la moindre résistance de l'eau, & non pas à celle qui est causée par la plus grande stabilité du navire. Cette derniere qualité est même presque toujours contraire à la propriété que doit avoir le navire de dériver peu: car le renflement de la carene, dans les cas même où il est utile pour la marche, ne peut pas faire augmenter le moins du monde la résistance que trouve la proue à fendre l'eau, sans faire augmenter au moins rélativement la disposition qu'a le navire à aller de côté. Ainsi il est à propos d'examiner toujours à part la quantité de la déviation, en cherchant l'obliquité de la route, pour une situation de voiles *donnée.* Il faut après tout reconnoître dans cette matiere des limites malgré soi, puisqu'on ne peut pas rendre la dérive nulle, quoiqu'on puisse toujours la faire diminuer de plus en plus.

CONCLUSION.

I.

Enfin après avoir satisfait autant qu'il nous a été possible à toutes les parties de l'engagement que nous avions pris, il sera sans doute convenable de résumer ici, sinon les principales choses que nous avons expliquées, au moins celles qui ont rapport à la figure du navire. Nous ne feindrons pas de le repeter, que nous croyons avoir donné des moyens infaillibles de se déterminer entre les différens avis des Constructeurs. On ne manquera plus désormais de *criterium* pour distinguer le meilleur parti ou pour bien choisir entre plusieurs plans proposés pour le même navire. On ne se verra plus obligé de rien abandonner au hasard, en déférant à l'autorité si souvent trompeuse d'une pratique qui n'est que grossiere.

Nous avons expliqué dans le second livre tout ce qui concerne le vaisseau lorsqu'il flote en repos. On reconnoîtra si sa pesanteur n'est pas trop grande par rapport à la solidité de sa carene, s'il aura assez de stabilité ou de force pour porter la voile, si sa batterie inférieure sera assez élevée au-dessus de la mer; pendant que les regles que nous avons données dans le troisieme livre & qu'on pourra réduire presque toutes à des opérations purement graphiques, apprendront si le navire doit singler avec vîtesse, s'il sera sujet à peu de dérive dans les routes obliques, s'il gouvernera avec facilité. On discutera de cette sorte toutes les qualités du projet, en le mettant à l'épreuve d'un calcul qui ne coûtera jamais que peu de travail. Les accidens même qui paroissent dépendre d'une cause plus irréguliere, seront soumis à la même regle : on a vu les moyens de déterminer la durée des balancemens du roulis; & quant à ceux du tangage on en jugera avec facilité, en examinant la distribution de la pesanteur, & la maniere dont elle est soutenue dans tous les cas particuliers.

Le Géometre laborieux ne tardera pas à se trouver dispensé par les connoissances de fait qu'il aura bien-tôt acquises, de recommencer continuellement ses supputations, ou de les pousser jusques dans le dernier détail. Il pourra outre cela faire quelques essais sur des navires déja construits pour s'en servir comme de terme de comparaison. Ces expériences lui apprendront en un instant diverses choses qu'il auroit beaucoup plus de peine à découvrir par toute autre voie; & il lui suffira lorsqu'il s'agira de tout autre vaisseau, de tenir compte de la différence ou de faire attention à toutes les causes nécessaires de changemens.

II.

Nous ne nous sommes pas bornés à distinguer entre un nombre toujours trop limité de projets ou de plans ceux qui ne sont peut-être que les moins mauvais : nous nous sommes proposés d'aller saisir dans l'infinité même de toutes les formes possibles celles qui sont absolument les meilleures. Lorsque la disposition des différentes parties, contribue à porter plus loin une certaine propriété, nous avons cherché la combinaison la plus avantageuse, en déterminant le *maximum*. On pourra désormais faire prévaloir sûrement laquelle des propriétés on voudra, & on sçaura en même tems jusqu'à quel point sera portée chaque autre.

On a vu que la plus grande coupe, ou que l'endroit le plus gros de la carene doit se placer à environ $\frac{5}{11}$ de la longueur, à commencer de la proue : c'est la position qu'on doit donner à cette coupe pour augmenter le plus qu'il se peut l'effet du gouvernail. Si on veut rendre le navire plus facile à gouverner par le moyen des voiles, il faudra porter l'endroit le plus gros un peu plus vers l'avant; mais alors la proue deviendra plus obtuse, & on préjudiciera en même tems & à la promptitude du sillage & à la propriété que doit avoir le navire d'être sujet à peu de dérive dans les routes obliques. On s'est assez convaincu, non pas de la simple difficulté, mais de l'impossibilité de satisfaire

ſatisfaire également à ces quatre conditions. Ne pouvant pas les concilier d'une maniere parfaite, il faut abſolument, pour ne pas trop perdre d'un des avantages, ſe réſoudre à perdre auſſi un peu des autres ; & il paroît que le parti le plus ſûr, eſt d'embraſſer ordinairement la diſpoſition qui favoriſe l'action du gouvernail, parce qu'elle tient une eſpece de milieu entre les autres.

On a expliqué dans le premier livre pluſieurs méthodes de tracer la coupe du navire faite perpendiculairement à ſa longueur dans cet endroit le plus gros. Ces méthodes peuvent ſervir ; mais on les modifiera par les remarques que nous avons faites dans le ſecond & dans le troiſieme livre. Suppoſé qu'on ne puiſſe pas ſe réſoudre à abandonner les pratiques ordinaires, & qu'on n'oſe pas aller tout d'un coup juſqu'au dernier terme du meilleur. Il eſt toujours à ſouhaiter que la carene ne ſoit que très-peu groſſe par rapport à ſa longueur : la choſe eſt de la plus grande importance, & mérite toute l'attention des Conſtructeurs. La coupe dans l'endroit le plus gros doit avoir la figure d'un trapeze qui deviendra un rectangle ou un triangle, dans les deux cas extrêmes. Elle doit être un triangle pour les frégates les plus légeres, & on la fera en rectangle dans les bâtimens de tranſport, afin d'augmenter la grandeur de leur charge.

C'eſt par la même raiſon qu'il faut auſſi ſéparer dans ces derniers navires la proue de la poupe par une portion de la carene qui conſerve ſenſiblement la même groſſeur ſur une longueur conſidérable, & qui ſoit au moins un cinquieme de celle du tout. Les regles vulgaires n'ont jamais mieux réuſſi que dans la conſtruction de ces ſortes de bâtimens : il ne reſte que très-peu à réformer ſur la figure des flutes dont ſe ſervent les Nations Septentrionales ; mais ces mêmes regles ont entierement manqué les frégates & encore plus les corvettes dont la proue & la poupe doivent commencer à ſe rétrecir ou à diminuer de groſſeur en partant même de la premiere coupe qui les ſépare. Les navires de guerre tiennent comme le milieu entre les

précédens; ce sont des bâtimens de charge, mais dont le grand poids est situé d'une maniere aussi particuliere qu'incommode. Leur centre de gravité étant trop près de leur métacentre, il faut les rendre plus larges que les autres navires; ce qui est également nécessaire pour le service de leur artillerie.

Les principales dimensions étant arrêtées, on conduira la courbure des *lisses* & on achevera l'ouvrage. On employera les méthodes d'approximation que nous avons indiquées dans le Chapitre XI de la premiere Section du premier Livre, ou bien on se conformera aux Tables que nous avons eu le soin de calculer & d'inserer dans la derniere Section de ce Traité, afin d'inviter encore mieux la pratique à recevoir toutes les instructions que lui offroit la théorie. Nous ne disons rien de la mâture; ses dimensions auront été reglées d'avance. Enfin le navire singlera non-seulement avec la plus grande vîtesse, il navigera avec toute la sûreté qui dépend du rapport parfait qu'on pouvoit mettre entre toutes ses parties.

FIN.

DE L'IMPRIMERIE DE L. CELLOT, RUE DAUPHINE.

Extrait des Regiſtres de l'Académie Royale des Sciences du 12 Mai 1745.

MEſſieurs Nicole & Clairaut qui avoient été nommés pour examiner un Ouvrage de M. Bouguer, intitulé, *Traité du Navire, de ſa conſtruction & de ſes mouvemens*, en ayant fait leur rapport; l'Académie a jugé cet Ouvrage digne de l'impreſſion, en foi de quoi j'ai ſigné le préſent Certificat. A Paris ce 15 Mai 1745.

GRANDJEAN DE FOUCHY.

PRIVILEGE DU ROI.

LOUIS par la grace de Dieu Roi de France & de Navarre: A nos amés & féaux Conſeillers, les Gens tenans nos Cours de Parlement, Maîtres des Requêtes ordinaires de notre Hôtel, Grand Conſeil, Prévôt de Paris, Baillifs, Sénéchaux, leurs Lieutenans Civils, & autres nos Juſticiers qu'il appartiendra, Salut. Nôtre bien amé & féal le *Sieur Jean Paul Bignon, Conſeiller ordinaire en notre Conſeil d'Etat, & Préſident de notre Académie Royale des Sciences*, Nous ayant fait très-humblement expoſer, que depuis qu'il nous a plû donner à notredite Académie, par un Reglement nouveau, de nouvelles marques de notre affection, elle s'eſt appliquée avec plus de ſoin à cultiver les Sciences, qui ſont l'objet de ſes exercices; enſorte qu'outre les Ouvrages qu'elle a déja donnés au Public, elle ſeroit en état d'en produire encore d'autres, s'il nous plaiſoit lui accorder de nouvelles Lettres de Privilege, attendu que celles que nous lui avons accordées en date du 6 Avril 1699, n'ayant point de tems limité, ont été déclarées nulles par un Arrêt de notre Conſeil d'Etat du 13 Août 1713. Et déſirant donner au Sieur Expoſant toutes les facilités & les moyens qui peuvent contribuer à rendre utiles au Public les travaux de notredite Académie Royale des Sciences, Nous avons permis & permettons par ces Préſentes à ladite Académie, de faire imprimer, vendre ou débiter dans tous les lieux de notre obéiſſance, par tel Imprimeur qu'elle voudra choiſir, en telle forme, marge, caractere, & autant de fois que bon lui ſemblera, *toutes ſes Recherches ou Obſervations journalieres, & Relations annuelles de tout ce qui aura été fait dans les Aſſemblées*, comme auſſi *les Ouvrages, Mémoires ou Traités de chacun des Particuliers qui la compoſent*, & généralement tout ce que ladite Académie voudra faire paroître ſous ſon nom, après avoir fait examiner leſdits Ouvrages, & jugés qu'ils ſont dignes de l'impreſſion; & ce pendant le tems de quinze

années consécutives, à compter du jour de la date desdites Présentes. Faisons défenses à toutes sortes de personnes de quelque qualité & condition qu'elles soient, d'en introduire d'impression étrangere dans aucun lieu de notre Royaume; comme aussi à tous Imprimeurs, Libraires & autres, d'imprimer, faire imprimer, vendre, faire vendre, débiter ni contrefaire aucun desdits Ouvrages imprimés par l'Imprimeur de ladite Académie, en tout ni en partie, par extrait ou autrement, sans le consentement par écrit de ladite Académie, ou de ceux qui auront droit d'eux: à peine contre chacun des contrevenans de confiscation des Exemplaires contrefaits au profit de sondit Imprimeur: de trois mille livres d'amende, dont un tiers à l'Hôtel-Dieu de Paris, un tiers audit Imprimeur, & l'autre tiers au Dénonciateur, & de tous dépens, dommages & intérêts; à condition que ces Présentes seront enregistrées tout au long sur le Registre de la Communauté des Imprimeurs & Libraires de Paris, & ce dans trois mois de ce jour: que l'impression de chacun desdits Ouvrages sera faite dans notre Royaume & non ailleurs, & ce en bon papier & beaux caracteres, conformément aux Reglemens de la Librairie; & qu'avant de les exposer en vente, il en sera mis de chacun deux Exemplaires dans notre Bibliotheque publique, un dans celle de notre Château du Louvre, & un dans celle de notre très-cher & féal Chevalier Chancelier de France le Sieur Daguesseau; le tout à peine de nullité des Présentes. Du contenu desquelles vous mandons & enjoignons de faire jouir ladite Académie, ou ses ayans cause, pleinement & paisiblement, sans souffrir qu'il leur soit fait aucun trouble ou empêchement. Voulons que la copie desdites Présentes qui sera imprimée au commencement ou à la fin desdits Ouvrages, soit tenue pour dûement signifiée, & qu'aux copies collationnées par l'un de nos amés & féaux Conseillers & Secretaires, foi soit ajoutée comme à l'original. Commandons au premier notre Huissier ou Sergent de faire pour l'exécution d'icelles tous actes requis & nécessaires, sans demander autre permission, & nonobstant clameur de Haro, Charte Normande & Lettres à ce contraires. Car tel est notre plaisir. Donné à Paris le 29 jour du mois de Juin, l'an de grace 1717, & de notre Regne le deuxieme. Par le Roi en son Conseil.

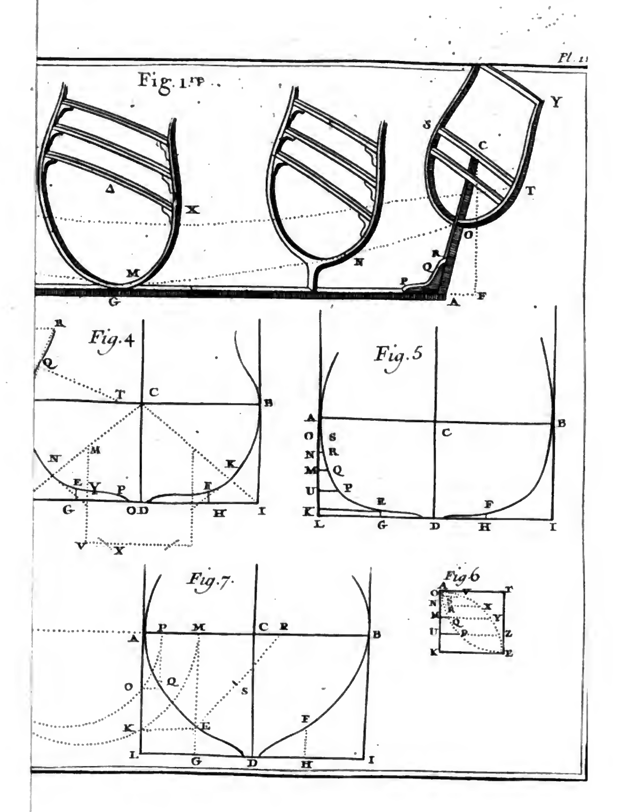
Signé, FOUQUET.

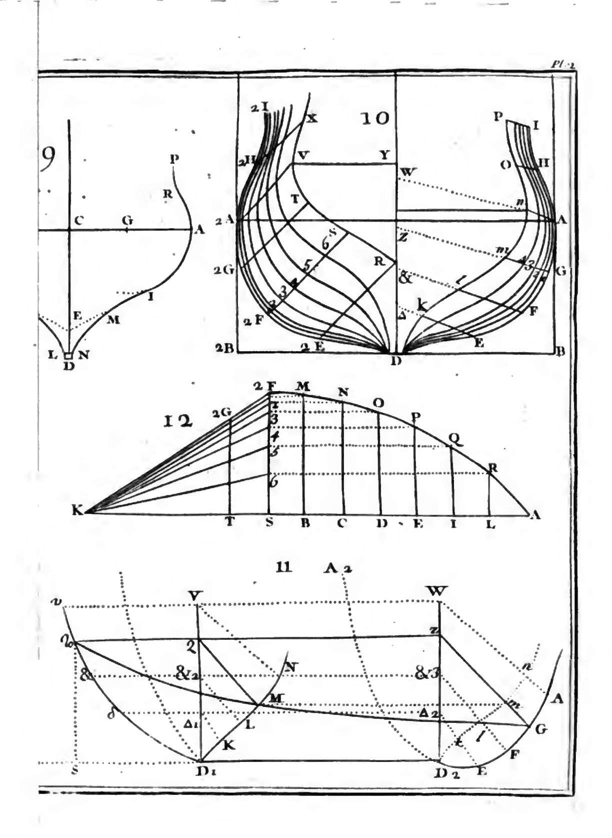
Il est ordonné par l'Edit du Roi du mois d'Août 1686, & Arrêt de son Conseil, que les Livres dont l'impression se permet par Privilege de Sa Majesté, ne pourront être vendus que par un Libraire ou Imprimeur.

Registré le présent Privilege, ensemble la Cession écrite ci-dessous, sur le Registre IV. de la Communauté des Imprimeurs & Libraires de Paris, p. 155. N. 205. conformément aux Reglemens, & notamment à l'Arrêt du Conseil du 13 Août 1703. A Paris le 3 Juillet 1717. Signé, DELAUNE, *Syndic.*



Nous soussigné Président de l'Académie Royale des Sciences, déclarons avoir en tant que besoin cedé le présent Privilege à ladite Académie, pour par elle & les différens Académiciens qui la composent, en jouir pendant le tems & suivant les conditions y portées. Fait à Paris le premier Juillet 1717, *Signé*, J. P. BIGNON.


Fig. 1re.
Fig. 4
Fig. 5
Fig. 7.
Fig. 6


Pl. 2
9
10
12
11

15

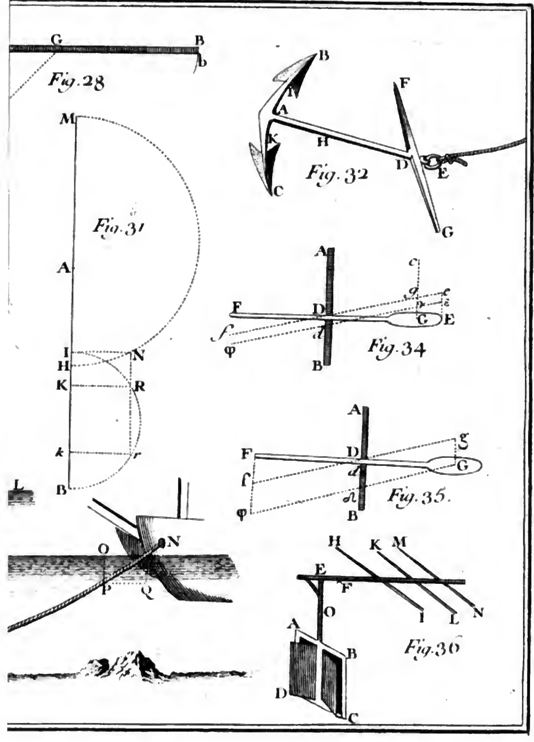
16

23

24

26





G
B
b
Fig. 28
M
Fig. 31
A
I
N
H
K
R
k
r
B
L
O
N
P
Q
B
F
A
H
K
C
Fig. 32
D
E
G
A
F
D
d
G
E
φ
B
Fig. 34
A
F
D
g
d
G
φ
B
Fig. 35.
H
K
M
E
F
O
I
L
N
A
B
D
C
Fig. 36

Fig. 40

Fig. 41

Fig. 42

Fig. 43

Fig. 44

Fig. 45

Fig. 46

Fig. 47



Pl. 6

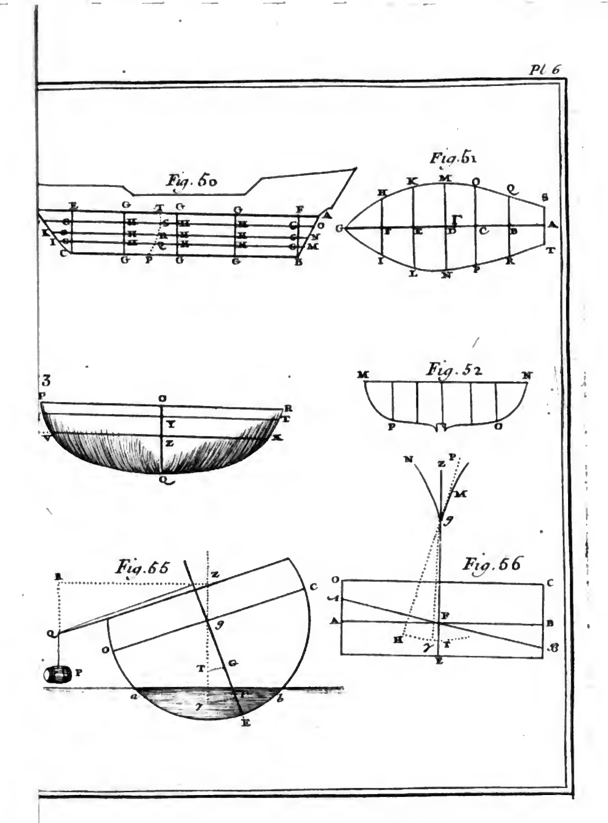


Fig. 58

Fig. 60

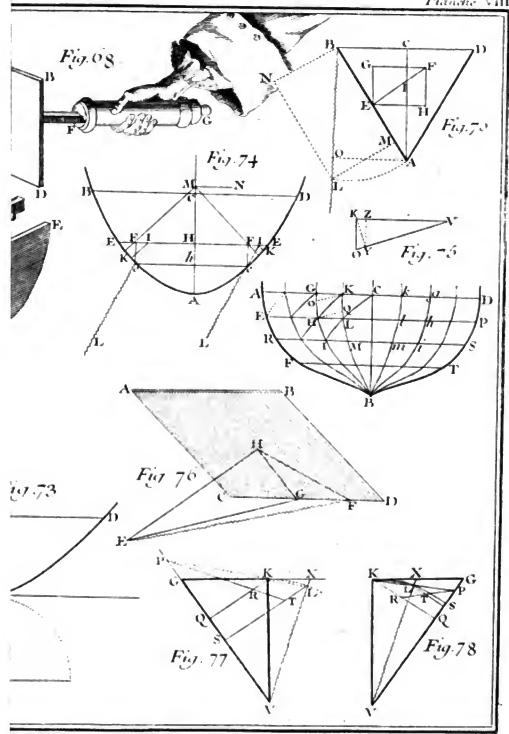
g 62

Fig. 63.

Fig. 64

Fig. 65




Fig. 68
Fig. 72
Fig. 74
Fig. 75
Fig. 76
Fig. 73
Fig. 77
Fig. 78

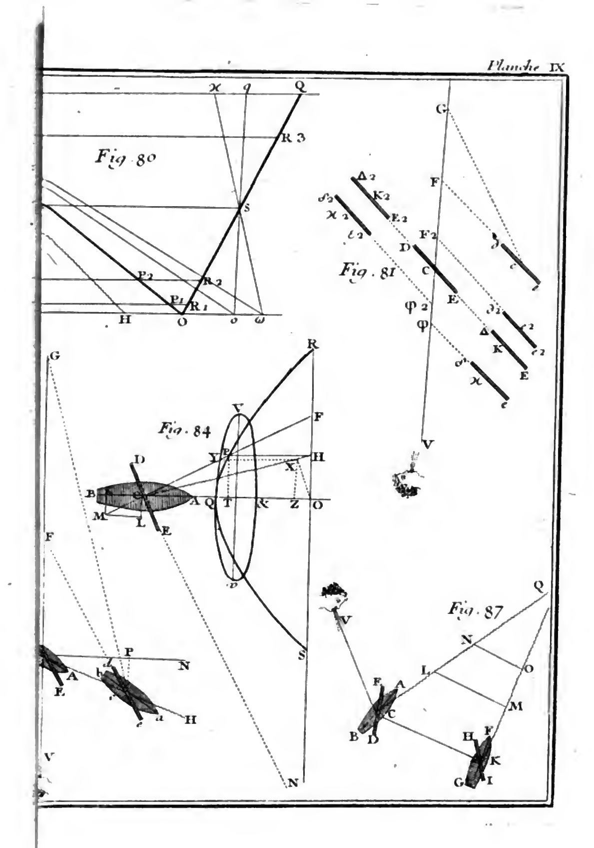

Fig. 80
Fig. 81
Fig. 84
Fig. 87

Fig. 90.

Fig. 91.

Fig. 93

Fig. 94.

Fig. 95

Fig. 97.

Fig. 98

Fig. 100.

Fig. 101.

Fig. 105.

Fig. 102.

Fig. 107

Fig. 108

Fig. 103

Fig. 112

Fig. 113

Fig. 115

Fig. 116.

Fig. 117.

Fig. 121

Fig. 122

